

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1909

THÈSE

N°

30

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le Mercredi 17 Novembre 1909, à 1 heure

PAR

René GAY

Licencié ès sciences

Préparateur de chimie au Collège Chaptal

ÉTUDE CRITIQUE

SUR

LA VISCOSITÉ DU SANG

Président : M. ROGER, professeur

Juges : { *MM. GAUCHER, professeur*
MARCEL LABBÉ, agrégé
ANDRÉ JOUSSET, agrégé

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

HENRI JOUVE, Éditeur

15, rue Racine, 15

1909

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

100

THE

OF

THE

OF

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

30

Année 1909

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le Mercredi 17 Novembre 1909, à 1 heure

PAR

René GAY

Licencié ès sciences
Préparateur de chimie au Collège Chaptal

ÉTUDE CRITIQUE

SUR

LA VISCOSITÉ DU SANG



Président : M. ROGER, professeur

Juges : { MM. GAUCHER, professeur
MARCEL LABBÉ, agrégé
ANDRÉ JOUSSET, agrégé

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE
HENRI JOUVE, Éditeur

15, rue Racine, 15

1909

Faculté de Médecine de Paris

LE DOYEN		M. LANDOUZY
PROFESSEURS		MM.
Anatomie.		NICOLAS
Physiologie.		CH. RICHET
Physique médicale.		GARIEL
Chimie organique et Chimie générale.		GAUTIER
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.		BLANCHARD
Pathologie et Thérapeutique générales.		BOUCHARD
Pathologie médicale.		BRISSAUD
		DEJERINE
Pathologie chirurgicale.		LANNELONGUE
Anatomie pathologique.		PIERRE MARIE
Histologie.		PRENANT
Opérations et appareils.		HARTMANN
Pharmacologie et matière médicale.		POUCHET
Thérapeutique.		GILBERT
Hygiène.		CHANTEMESSE
Médecine légale.		THOINOT
Histoire de la médecine et de la chirurgie.		CHAUFFARD
Pathologie expérimentale et comparée.		ROGER
		HAYEM
Clinique médicale.		DIEULAFOY
		DEBOVE
		LANDOUZY
		HUTINEL
Maladies des enfants.		GILBERT BALLET
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.		GAUCHER
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.		RAYMOND
Clinique des maladies du système nerveux.		DELBET
		QUENU
Clinique chirurgicale.		RECLUS
		SEGOND
Clinique ophtalmologique.		DE LAPPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires.		ALBARRAN
		PINARD
Clinique d'accouchements.		BAR
		RIBEMONT-DESSAIGNES
Clinique gynécologique.		POZZI
Clinique chirurgicale infantile.		KIRMISSON
Clinique thérapeutique.		ALBERT ROBIN

Agrévés en exercice

MM.			
AUVRAY	CUNEO	LAUNOIS	NOBECOURT
BALTHAZARD	DEMELIN	LECENE	OMBREDANNE
BRANCA	DESGREZ	LEGRY	POTOCKI
BEZANÇON (F.)	DUVAL (P.)	LENORMANT	PROUST
BRINDEAU	GOSSET	LOEPER	RENON
BROCA (A.)	GOUGET	MACAIGNE	RICHAUD
BRUMPT	JEANNIN	MAILLARD	RIEFFEL
CARNOT	JEANSELME	MARION	SICARD
CASTAIGNE	JOUSSET (A.)	MORESTIN	ZIMMERN
CLAUDE	LABBE (M.)	MULON	
COUVEAIRE	LANGLOIS	NICLOUX	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que ses opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MA CHÈRE FEMME

Hommage bien attristé.

A MES CHERS PARENTS

Hommage de tendre affection.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR ROGER

Professeur de Pathologie expérimentale
Médecin de l'Hôpital de la Charité
Chevalier de la Légion d'honneur

Hommage de respectueuse reconnaissance.

A MONSIEUR LE DOCTEUR VAQUEZ

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine
Chevalier de la Légion d'honneur

*Qui a bien voulu nous autoriser
à travailler dans son labora-
toire,*

A MONSIEUR LE DOCTEUR TALAMON

Médecin de l'Hôpital Bichat
Chevalier de la Légion d'honneur

*Qui nous a accueilli avec la plus
grande bienveillance et dont
l'enseignement clinique et les
causeries au lit des malades
ont toujours été pour nous du
plus haut intérêt et du plus
grand profit,*

A MONSIEUR LE DOCTEUR L. HALLION

Professeur remplaçant au Collège de France
Chef de laboratoire de physiologie pathologique
au Collège de France

*Qui nous a inspiré ce travail et
a bien voulu nous aider de
ses conseils,*

Nous adressons l'expression de notre bien vive gratitude.

Nous tenons aussi à remercier M. le Dr Bazy, chirurgien de l'hôpital Beaujon et M. le Dr Bonnaire, professeur agrégé à la Faculté et accoucheur de l'hôpital Lariboisière, qui nous ont donné de précieux conseils au cours de nos stages hospitaliers.

Nous avons tenu aussi à suivre pendant quelques mois les cliniques du professeur Pinard ; elles nous ont si intéressé, nous avons retiré de l'enseignement de ce Maître des notions si claires et si précises que nous manquerions à notre devoir si nous ne lui adressions nos sincères remerciements.

Nous ne voudrions pas oublier non plus M. le Dr Eugène Regnaud qui nous a initié à la pratique des maladies des voies urinaires à l'hôpital Beaujon, où il assistait M. le Dr Bazy. Il nous a depuis longtemps témoigné la plus bienveillante amitié.

ETUDE CRITIQUE
SUR
La Viscosité du sang

INTRODUCTION

La connaissance de la viscosité du sang nous paraît avoir un intérêt théorique indiscutable.

Ainsi, on professe généralement que la circulation du sang dépend de deux causes : l'état du cœur et des parois vasculaires ; il nous semble indispensable, comme à beaucoup d'auteurs, d'en ajouter une troisième : la viscosité du sang qui doit jouer un rôle considérable.

En se plaçant à un autre point de vue, cet intérêt n'est pas moindre ; il serait curieux par exemple de savoir, si dans certaines maladies où les hémorragies sont plus ou moins fréquentes, comme la tuberculose, la nature ne lutte pas contre ces complications en rendant le sang plus visqueux ; ou bien si dans

les néphrites, il devient au contraire moins visqueux pour mieux permettre la filtration.

Un dernier exemple nous montrera encore toute l'importance d'un pareil sujet : Les liquides qu'on injecte dans l'organisme ne seraient-ils pas mieux absorbés et ne produiraient-ils pas plus d'effet actif, si au lieu d'être seulement isotoniques ils étaient en même temps isovisqueux ?

Un intérêt pratique pourrait alors peut-être en découler si nous connaissions exactement les faits et si nous savions les interpréter. Une thérapeutique appropriée pourrait par exemple organiser ou favoriser cette lutte dont nous parlons plus haut, par l'introduction dans l'organisme de substances modifiant dans le sens convenable la viscosité du sang.

Mais les recherches faites en France sur la viscosité des liquides de l'organisme sont en bien petit nombre ; la plupart des travaux parus jusqu'ici ont été faits en Italie, en Allemagne et en Suisse ; aussi, il nous a semblé, que nous pourrions être utile en exposant un large résumé de la question.

Pour notre propre compte, nous avons fait quelques expériences, mais elles n'ont pu être assez multipliées pour que nous les exposions dans un chapitre spécial. Nous aurons l'occasion, cependant, d'y faire allusion chemin faisant, et on voudra bien nous excuser de leur faible importance, si l'on veut bien considérer les efforts que nous avons dû produire pour condenser les principaux travaux étrangers.

Nous avons divisé notre travail en trois parties :

Dans un premier chapitre, nous exposons des considérations générales résumant les recherches purement scientifiques sur la viscosité de beaucoup de substances chimiques. Ce chapitre nous a semblé indispensable, car il nous a permis de définir le coefficient de viscosité, et de décrire les méthodes employées par les physiciens pour sa détermination, méthodes souvent empruntées dans la suite par les physiologistes et les pathologistes qui se sont occupés de la question à un autre point de vue.

Dans un deuxième chapitre, nous décrivons les expériences effectuées sur les animaux, en y joignant les résultats obtenus.

Dans un troisième chapitre, nous indiquons les travaux effectués sur l'homme et leurs applications cliniques.

Nous avons cru devoir donner fréquemment les résultats numériques, pensant ainsi éviter des recherches bibliographiques.

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales

Définition du coefficient de viscosité. — Méthodes de mesure de ce coefficient.

La considération de la viscosité s'est présentée pour la première fois dans l'étude des mouvements des fluides, dont d'Alembert avait établi les équations. On s'aperçut, en effet, que dans un certain nombre de cas ces équations ne s'accordaient pas avec les résultats de l'expérience ; on disait alors que le fluide était visqueux, et que cette viscosité se mettait encore mieux en évidence quand on pouvait faire mouvoir le fluide dans un tube capillaire.

Divers savants étudièrent alors cette propriété de la viscosité, et cherchèrent à en donner une théorie.

On peut citer : Navier (1822), Poisson (1831), Barré de Saint-Venant (1843), Stokes (1845) et plus récemment Boussinesq, Duhem et Maxwell.

En particulier, Navier d'abord, Poisson ensuite émirent cette théorie qu'un liquide en mouvement permanent (c'est-à-dire dont la vitesse en un point quelconque ne varie pas avec le temps) dans un

tube très étroit qu'il mouille se partage en couches cylindriques s'emboîtant les unes dans les autres, et dont chacune se meut sur toute sa longueur avec une même vitesse, variable d'une couche à l'autre, depuis la vitesse nulle de la couche adhérente à la paroi jusqu'à une vitesse maxima correspondant au filet axial. Chaque couche subit donc deux frottements, dont l'un agissant sur sa face externe tend à ralentir son mouvement, dont l'autre agissant sur sa face interne tend à l'accélérer.

Cette théorie a conduit les physiciens, à l'aide de calculs qui ne sauraient trouver place ici, à l'établissement d'une formule identique à celle que Poiseuille établit avant eux par l'expérience pure et que nous retrouverons plus loin.

Ces physiciens en conclurent que cette hypothèse sur la viscosité était vérifiée, et, pour cette raison, ils donnèrent à la viscosité le nom de *frottement intérieur*.

Mais de tous les travaux anciens, ce sont ceux de Poiseuille qui méritent le plus de fixer notre attention.

Ce savant, dans le but d'étudier les conditions de la circulation du sang dans les capillaires, fit en 1842 une série d'expériences sur le mouvement des fluides dans les tubes capillaires, et ses résultats furent contrôlés par une commission de l'Académie des Sciences.

Nous décrirons immédiatement l'appareil et la méthode dont il s'est servi et nous verrons que sou-

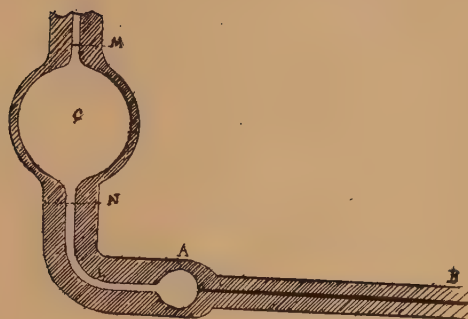


Fig. 1. — Expériences de Poiseuille.

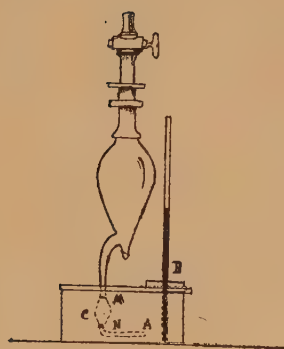


Fig. 2.

vent on les appliqua, sous une forme plus ou moins masquée, dans les travaux ultérieurs (fig. 1 et fig. 2).

Poiseuille faisait passer à travers un tube capillaire AB aussi bien calibré que possible, et sous une pression connue, une quantité déterminée de liquide mesurée entre les repères M et N d'une ampoule C soudée au tube capillaire, et il notait le temps nécessaire à ce passage pour diverses pressions et différentes longueurs et sections du tube. Les niveaux étaient donnés par une lunette mobile le long d'une règle verticale, la pression par un réservoir d'air comprimé dans lequel la pression est constante et indiquée par un manomètre ; cette pression se faisait sentir sur le liquide par l'intermédiaire d'un vase en fuseau relié à l'ampoule et chassait le liquide de M en N ; de plus, tout l'appareil était plongé dans un vase à température constante et connue.

Poiseuille montra d'abord que, pour un même liquide, les temps d'écoulement sont en raison inverse des pressions exercées ; donc la quantité de liquide qui coulera dans le même temps variera proportionnellement à la pression, et non proportionnellement à la racine carrée de la pression comme l'indique la loi de Torricelli.

Puis, en faisant les mêmes expériences avec des tubes capillaires de même calibre, mais d'inégale longueur, il trouva que dans le même temps, et sous une même pression, les quantités de liquide qui passent sont en raison inverse de la longueur des

tubes. Cependant, cette loi ne serait vraie qu'à partir d'une certaine longueur limite d'autant plus grande que le tube est plus large. Ainsi, pour un tube de 0 mm. 01 de diamètre, il suffit d'une longueur de quelques dixièmes de millimètre ; mais avec un tube de 0 mm. 50 de diamètre, il faut une longueur de 150 millimètres environ.

Enfin Poiseuille trouva que les quantités de liquide écoulé dans des tubes de diamètres différents, mais de même longueur, sous une même pression et à une même température, sont en raison directe des quatrièmes puissances de ces diamètres, et, ce serait même là la vraie découverte de Poiseuille.

Ces trois lois trouvent leur résumé dans la formule suivante dite formule de Poiseuille :

$$Q = K \frac{H D^4}{L} (1)$$

dans laquelle :

Q = volume du liquide recueilli pendant l'unité de temps ;

H = pression constante à laquelle on opère ;

D = diamètre du tube capillaire ;

L = longueur de ce même tube.

K est une constante, variable seulement avec le liquide employé et la température à laquelle on opère, et qu'on appelle *coefficient de viscosité absolu* du liquide considéré.

Ce coefficient calculé pour, l'eau est tel qu'on peut en faire abstraction dans les tubes larges, mais non dans les tubes capillaires.

Cette formule a été souvent vérifiée, et les mesures faites dans ce but avec des liquides différents ont conduit aux mêmes lois.

Les physiciens qui avaient émis pour expliquer la viscosité l'hypothèse que le frottement intérieur est proportionnel à la différence des vitesses des couches frottantes sont arrivés par le calcul à la formule

$$Q = \frac{\pi H R^4 T}{8 \rho L} (2)$$

où Q exprime le volume de liquide passant dans un tube capillaire de longueur L, de rayon R, sous la pression H, et pendant le temps T; ρ est un coefficient dépendant de la nature du liquide employé et de la température.

De cette formule, on tire évidemment

$$\rho = \frac{\pi H R^4 T}{8 Q L} (3)$$

Ce nombre ρ est encore appelé *coefficient de viscosité absolue* du liquide employé; on voit qu'il est lié au coefficient K par la formule

$$\rho = \frac{\pi}{128 K}$$

et comme pour K si on veut l'exprimer en unités C. G. S., il faut exprimer H en dynes par centimètre carré de surface, L et R en centimètres, Q en centimètres cubes, et T en secondes.

Le coefficient ρ a l'avantage sur le coefficient K de

varier dans le même sens que la viscosité, c'est-à-dire que plus le liquide est visqueux et plus les valeurs numériques de ρ sont grandes ; pour K c'est l'inverse.

La formule précédente $\rho = \frac{\pi H R^4 T}{8 Q Z}$ demande une correction quand le liquide s'écoule dans le tube capillaire avec une vitesse assez grande. Hagenbach et Wilberforce ont donné la formule suivante

$$\rho_1 = \frac{\pi H R^4 T}{8 Q L} \frac{Q \delta}{8 \pi T L}$$

où δ désigne la densité du liquide.

Dans la pratique il est le plus souvent préférable d'étudier la viscosité spécifique des liquides par rapport à l'eau distillée. Pour cela, on compare alors les durées d'écoulement T et T' de volumes égaux du liquide étudié et d'eau distillée par un même tube capillaire et sous la même pression, car la formule (3) appliquée successivement au liquide à étudier et à l'eau distillée permet alors évidemment de tirer la proportion suivante :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{T}{T'}$$

où ρ représente le coefficient de viscosité absolu du liquide dont un certain volume s'écoule en T unités de temps.

ρ' représente le coefficient de viscosité absolu de l'eau distillée dont le même volume s'écoule en T' unités de temps.

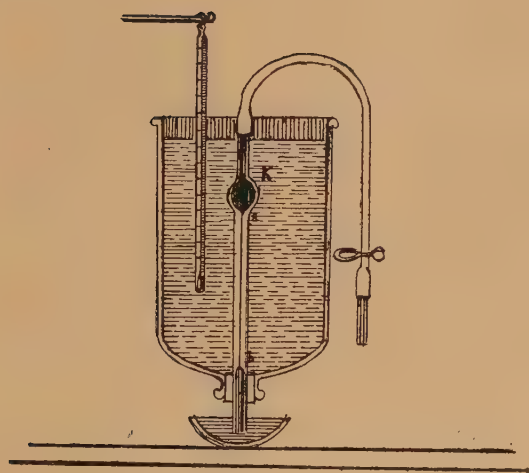


Fig. 3. — Détermination de η .

La méthode suivie en pratique pour la détermination de ce rapport $\frac{\rho}{\rho'}$ peut se schématiser ainsi :

(fig. 3)

Un tube capillaire vertical ab se termine à sa partie inférieure par un tube plus large, et à sa partie supérieure par un renflement duquel part un tube également plus large, mais étranglé en K ; à l'extrémité de ce dernier est fixé un tuyau en caoutchouc muni d'une pince obturatrice ; le tube baK se trouve en entier dans un vase rempli d'eau dont la température est donnée par le thermomètre c . Après avoir ouvert l'obturateur, on aspire le liquide à étudier par le tuyau en caoutchouc dans le tube capillaire jusqu'à un point fixe situé un peu au-dessus de K , et on détermine, l'obturateur étant ouvert, la durée T nécessaire pour que tout le liquide s'écoule par le tube capillaire. On répète la même expérience avec l'eau, et soit T' la durée d'écoulement ; la pression H de la formule (3) est ici une grandeur variable, car elle est à chaque instant égale à la pression de la colonne de liquide qui ne s'est pas encore écoulée ; mais comme la loi suivant laquelle cette pression varie est la même pour les deux liquides, on peut encore appliquer la formule. On voit donc que l'on a :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{T H}{T' H} = \frac{T \delta}{T' \rho'}$$

δ et δ' étant les densités respectives du liquide et de l'eau. Si on fait $\delta' = 1$ et si on prend comme

unité de viscosité celle de l'eau, c'est-à-dire si l'on fait $\rho' = 1$, on a : $\rho = \frac{T}{T'}$; si de plus les deux liquides ont des densités peu différentes, ce qui est le cas pour les liquides de l'organisme, on a enfin la formule

$$\eta = \frac{T}{T'}$$

dans laquelle η désigne le *coefficient de viscosité relatif* du liquide employé. Nous conserverons cette désignation chaque fois que nous parlerons de ce coefficient relatif, conservant alors la lettre K ou ρ pour désigner le *coefficient de viscosité absolu*.

D'autres méthodes encore ont été imaginées pour déterminer la viscosité des liquides ; nous citerons celles de Coulomb (1802), de Helmholtz, Margules, etc... Et même bien avant Coulomb, Newton et d'autres géomètres avaient cherché à évaluer la résistance des fluides au moyen du décroissement des élongations successives d'un pendule oscillant dans un milieu résistant ; mais ce procédé limité aux petites oscillations présentait de grandes difficultés expérimentales.

La méthode de Coulomb (fig. 4) est basée sur la résistance qu'éprouve le mouvement d'un disque D oscillant horizontalement dans le liquide sous l'influence de la torsion d'un fil F qui le supporte. Cette méthode, un peu modifiée par Helmholtz (1860), Margules (1881) et O. F. Meyer (1887), a permis de trouver des nombres peu différents de ceux de Poiseuille.

Jones a déterminé le coefficient ρ à l'aide d'une for-

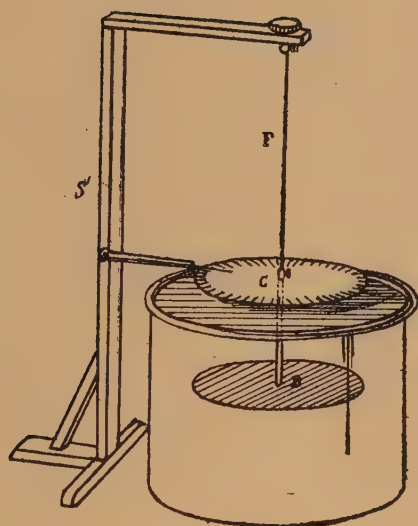


Fig. 4. — Appareil de Coulomb.

mule qui donne la vitesse constante v que prend une petite sphère tombant à l'intérieur d'un liquide doué de viscosité. Stokes en effet a montré que quand un corps se meut d'un mouvement uniforme à travers un pareil liquide, il éprouve une résistance proportionnelle à la vitesse pourvu que celle-ci soit assez faible. Dans le cas où il s'agirait d'une sphère de rayon r se mouvant d'un mouvement uniforme de vitesse v à travers le liquide de viscosité ρ , la résistance au mouvement serait d'après Stokes égale à $\sigma \cdot \pi \cdot \rho \cdot r v$. Quand une sphère solide commence à tomber dans un fluide doué de viscosité, la vitesse est d'abord petite, et le poids de la sphère est plus grand que la résistance due à la viscosité ; la vitesse de la sphère et par suite la résistance augmentent donc jusqu'à ce que la résistance soit égale au poids de la sphère ; quand cette dernière vitesse qu'on appelle vitesse finale est atteinte, les forces agissant sur la sphère sont en équilibre et la sphère tombe avec une vitesse uniforme égale à la vitesse finale.

Or le poids effectif de la sphère est égal à $\frac{4}{3} \pi r^3 g (\sigma - \delta)$

où σ = densité de la sphère et δ = densité du liquide ;

$$\text{Donc on a } \sigma \cdot \pi \cdot \rho \cdot r v = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 g (\sigma - \delta)$$

Cette formule permet donc de déterminer ρ .

Influence de la température et de la pression sur la viscosité des liquides. — Toutes les expériences faites à ce sujet ont montré que la viscosité diminue rapidement quand la température croît.

Ainsi, en représentant par 100 la viscosité de l'eau à 0 degré on a trouvé les nombres suivants pour les températures correspondantes :

Températures ,	0	10	20	30	40	50	60	70
Viscosité	100	73	56	44	37	31,5	27	23,5

avec une sorte d'anomalie autour de 4 degrés et qui est la suivante : le coefficient croît lentement pendant le refroidissement jusqu'à 7°, puis rapidement entre 7° et 5° et très lentement entre 5° et 4°, mais on a un maximum entre 5 et 24.

Pour l'alcool, on a aussi des différences très grandes. Si on pose $\rho_0 = 100$, on a $\rho_{70} = 28,7$

Pour le brome, les variations sont encore plus grandes.

D'une façon générale, les coefficients ρ^t et ρ_0 seraient liés par la formule $\rho^t = \frac{\rho^0}{1 + at + bt^2}$ dans laquelle a et

b sont des constantes variables avec chaque liquide,

Certains physiciens : Heydweiller, Thorpe, Stoel, Haas ont étudié la viscosité de certains liquides à des températures plus élevées que celles de leur point d'ébullition.

Garwanoff, Koller et Perry ont cherché comment varie la viscosité de certaines huiles en fonction de la température.

La viscosité de co^2 liquide est la plus faible que l'on ait trouvée jusqu'ici : elle serait à 15° 14,5 fois plus faible que celle de l'eau ; l'alcool aurait

une viscosité plus grande que celle de l'eau à 10 degrés.

Tammann par la méthode de Jones a même déterminé la viscosité de corps en état de surfusion.

Puis Roentgen (1884), Warburg et Sachs (1884), Cohen (1892), Tammann (1899), Hausser (1900) ont étudié l'influence de la pression sur la viscosité. Ils ont reconnu pour l'eau que la viscosité décroît quand la pression augmente jusqu'à une température voisine de 32° : mais au delà de 32°, la viscosité augmente en même temps que la pression jusqu'à 400 atmosphères. Pour l'essence de térébenthine et les dissolutions aqueuses concentrées de NaCl et AzH⁴Cl la viscosité croît toujours avec la pression.

Viscosité des dissolutions et des mélanges. — La viscosité des dissolutions est tantôt plus grande et tantôt plus petite que celle de l'eau, et la concentration croissant, on observe quelquefois des maxima et des minima de la viscosité.

Par exemple, la viscosité des dissolutions aqueuses de NaCl, SO⁴K², NaI, AzO³Na, SO⁴Na², BaCl², CaCl², SO⁴Mg et des sels des métaux lourds, est plus grande que la viscosité de l'eau pure ; au contraire, la viscosité des dissolutions de KCl, KBr, KI, AzO³K, ClO³K, AzH⁴Cl, AzH⁴Br, AzH⁴I, AzO³AzH⁴, (AzO³)²Ba, est aux basses températures plus petite, et aux températures élevées plus grande que celle de l'eau.

D'après Arrhénus, pour beaucoup de solutions

faibles, la viscosité peut s'exprimer par la formule suivante

$$\rho = A^x$$

dans laquelle A est une constante pour la même substance, x le nombre de molécules grammes de la substance dissoute dans 1 litre d'eau.

La viscosité serait donc une fonction exponentielle de la concentration.

On aurait là un résultat comparable (mais non identique) à ce qu'on voit dans la cryoscopie.

D'après Kanitz, s'il y avait plusieurs solides en dissolution dans l'eau, on aurait la formule

$$\rho = A^x \cdot B^{y_1} C^{z_1}.$$

Mais il est bien acquis que ces formules ne s'appliquent qu'aux solutions faibles, et récemment on a montré que la formule d'Arrhénius n'était pas applicable aux solutions alcooliques.

La viscosité des mélanges a été récemment étudiée par Scarpa (1904) et Dunstan (1905).

Scarpa s'est occupé de la viscosité des mélanges d'eau et de phénol à différentes températures. Il a trouvé que les courbes résumant les résultats possèdent à toutes les températures un point singulier qui correspond à une teneur de 15 et 58 o/o de phénol.

Beaucoup de savants ont également recherché les relations pouvant exister entre la viscosité et la résistance électrique des solutions. On peut citer parmi les travaux récents ceux de Lyle et Hösling (1902),

Hösling (1904), Hechler (1905), Grüneisen (1905).

D'autres ont étudié l'action de la dissociation : celle-ci augmente la viscosité sans exception.

La viscosité des liquides non conducteurs de l'électricité comme le sulfure de carbone et l'alcool qui sont des isolants liquides, augmente quand ces liquides renferment en dissolution les corps suivants : I, KI, Azo^3AzH^4 .

Linebarger a déterminé la viscosité de mélanges de divers liquides, benzine, toluène, nitrobenzine, chloroforme, éther, tétrachlorure de carbone, etc., et il a reconnu qu'elle est en général inférieure à celle que donnerait la règle des mélanges.

Enfin, Graham Otto a fait un exposé détaillé des travaux relatifs aux rapports existants entre la viscosité et la composition chimique. Il cite les travaux de Reyer montrant qu'il existe un rapport entre les acides et leurs sels quant à la viscosité ; pour un acide fort comme SO^4H^2 , le métal produit une augmentation relativement faible de la viscosité ; pour un acide faible, dont les sels sont facilement dissociables, la différence entre la viscosité de l'acide et celle des sels est beaucoup plus grande.

Enfin, Wagner a constaté la dépendance de la viscosité et du poids atomique ; la viscosité diminue avec l'augmentation du poids atomique : ainsi les sels de potassium ($\text{K} = 39$) ont une viscosité moindre que celle des sels de sodium ($\text{Na} = 23$).

CHAPITRE II

Recherches effectuées sur les animaux

1^o TRAVAUX DE BENNO-LEVY

(*Archives de Pfluger*, 1897.)

Cet auteur fut amené au cours de recherches sur la circulation, à s'occuper de vérifier si les lois de Poiseuille s'appliquaient au sang ; il chercha ensuite à déterminer le coefficient de frottement intérieur en valeur absolue ; jusqu'à lui, les recherches sur la viscosité du sang étaient de peu d'importance.

Poiseuille dont le but était cependant l'étude de la circulation capillaire du sang n'avait fait sur ce point que quelques expériences, en opérant sur le sang défibriné, et comme il avait remarqué que les globules se sédimentaient au fond de son tube, d'où résultait un écoulement irrégulier se faisant par à-coup, il en avait conclu que c'était la fibrine qui servait à répartir régulièrement les globules dans le sang vivant, et par conséquent à rendre la circulation possible.

De 1853 à 1856 Haro (*Gazette hebdomadaire et Comptes Rendus*) avait repris les expériences de Poiseuille sur le sang ; il faisait passer le sang défi-

briné maintenu à la même pression d'un vase supérieur dans un vase inférieur, par un tube capillaire vertical, et il constata que les lois de Poiseuille n'étaient pas exactement applicables. Il trouva en outre que dans les mêmes conditions le sang met de 4,5 fois à 7,5 fois plus de temps que l'eau distillée pour s'écouler dans un tube capillaire.

En 1878 M. C. Ewald (*Archiv. für. Anatomie und physiologie*) fit des recherches analogues dans les mêmes conditions d'expérience et trouva des résultats comparables à ceux de Haro.

La divergence entre les nombres obtenus par ces auteurs tient probablement à ce que Poiseuille maintenait le tube capillaire horizontal; tandis que Haro et Ewald opéraient en maintenant le tube capillaire vertical.

Néanmoins, comme résultats intéressants, ces derniers trouvèrent que la viscosité du sang s'abaisse quand la température augmente, qu'elle croît avec son poids spécifique, et qu'elle est assez constante pour les individus de la même espèce.

B. Lewy reprit toutes ces questions, et pour effectuer ses mesures, il partait de la formule théorique

$$Q = \frac{\pi (p_1 - p_2) R^4 T}{8 \rho L} \text{ exacte pour tubes capillaires horizontaux}$$

donnant le volume Q du liquide passant dans un tube capillaire horizontal de longueur L, rayon R, pendant un temps T, pour lequel la pression du

liquide à l'origine est p_1 et à l'extrémité du tube d'écoulement p_2 . C'est en somme la formule et les lois de Poiseuille qu'il s'agissait de vérifier en se servant de tubes horizontaux capillaires et de sang défibriné.

Mais, comme dans les expériences de Poiseuille, le sang avait tendance à la sédimentation ; aussi

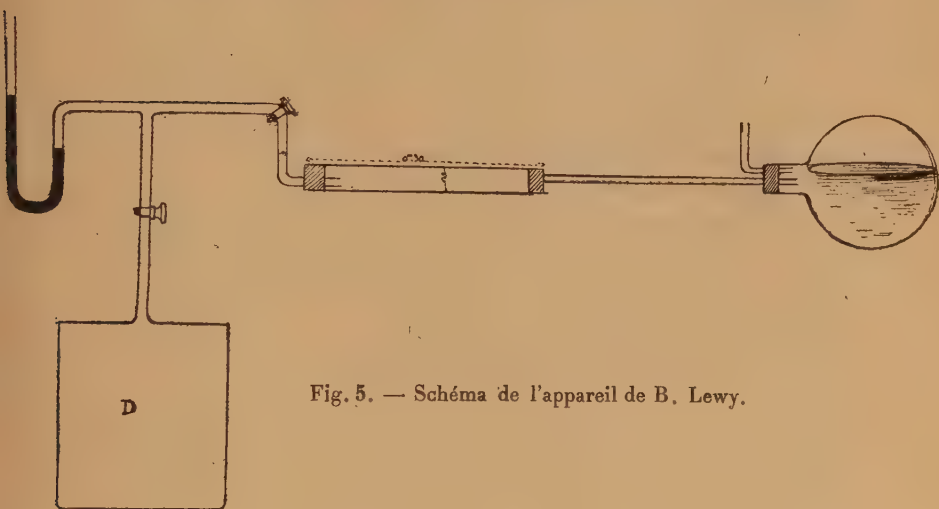


Fig. 5. — Schéma de l'appareil de B. Léwy.

B. Léwy pour éviter cet inconvénient, agitait violemment le sang avant l'entrée dans le tube capillaire, et vérifiait l'absence de dépôt en déterminant le poids spécifique total du sang à l'écoulement, comparé à celui du sang avant l'écoulement ; de plus il rendait l'expérience aussi courte que possible. Pour éviter de mesurer p_2 , il s'arrangeait à prendre des tubes capillaires de longueur et de calibre convenables, pour faire en sorte que le liquide sorte sans pression, c'est-à-dire goutte à goutte ; dans ces

conditions $p_2 = 0$; enfin pour éviter que les gouttes de sang n'adhèrent à l'extrémité du tube, ce qui serait un obstacle à l'écoulement, il faisait faire cet écoulement au sein d'un liquide.

L'appareil de l'auteur est schématisé par la figure ci-contre ; notons qu'il peut être placé dans l'eau afin d'opérer à une température constante (fig. 5).

Les mesures à effectuer sont :

Le poids du sang écoulé.....	appelons-le	G
Le poids spécifique du sang.....	—	s
Le poids spécifique du mercure....	—	s'
La pression lue sur le manomètre..	—	H
La durée de l'écoulement.....	—	t (qui variait entre 15 secondes et 5 minutes)

On a évidemment la formule

$$G = \frac{\pi}{8\rho} \cdot \frac{ss'H}{L} \cdot R^4 T$$

qu'on tire de la formule précédente dans laquelle on a :

$$Q = \frac{G}{s}, p_2 = 0, p_1 = s'H$$

$$\text{d'où } \rho = \frac{\pi ss' H R^4 T}{8 L G}$$

On devra tenir compte naturellement de la température à laquelle on mesure s et G pour faire concorder les résultats, en prenant comme coefficient de dilatation du sang celui de l'eau qui en est très voisin.

Toutes les précautions prises, les mesures effectuées scrupuleusement, l'appareil fut essayé d'abord

avec de l'eau distillée pour voir si les résultats concordaient avec ceux de Poiseuille, ce qui se vérifia ; puis Lewy effectua les mêmes recherches avec du sang défibriné ou oxalaté provenant de chiens, de cochons, de moutons, de chevaux sains ou malades, et obtint par ses expériences *une nouvelle vérification des lois de Poiseuille, à condition naturellement que fût évitée la sédimentation, et que le tube capillaire fut assez long et disposé horizontalement.*

D'après l'auteur, le coefficient ρ en valeur absolue variait pour le sang de 0,00013 à 0,00068, et était en moyenne de 0,00025 ; et comme pour l'eau distillée, ce coefficient est égal à 0,00007, il en conclut que la viscosité du sang est, suivant les espèces de 2 fois à 10 fois plus grande que celle de l'eau et en moyenne 3,5 fois ; il a de plus trouvé que le sang le plus lourd est généralement le plus visqueux, mais ce n'est pas là une règle absolue.

Comme autre résultat très intéressant, B. Lewy a trouvé qu'en faisant varier la température du sang de mouton de 27° à 50°, la viscosité reste constante de 27° à 45°, puis diminue rapidement de 45° à 50°. Ces faits sont peu comparables à ceux qu'ont trouvés Haro et Ewald et les auteurs qui se sont occupés de la viscosité des liquides homogènes ; mais Lewy fait remarquer que le sang peut ne pas obéir aux lois des liquides homogènes ; par exemple l'augmentation de volume des globules du sang par l'augmentation de la température pourrait

compenser la diminution de la viscosité du sérum pour cette même augmentation de température.

De ses recherches, B. Lewy a voulu tirer une conclusion pour l'hémodynamique.

On sait que la plus grande partie de la pression du sang sert à la circulation dans les capillaires ; ainsi dans l'artère radiale la pression est peu inférieure à celle qui règne dans l'aorte ; mais dans la veine correspondante, la pression est très faible.

Plusieurs théories ont alors été émises pour l'explication de ces faits :

1^o Théorie de A. Fick : Pour lui la pression dans les capillaires est encore assez forte, et peu différente de celle mesurée dans les artères ; la pression ne serait très faible qu'à l'origine des ramifications veineuses ; si cette théorie était vraie, la section des petites veines devrait donner un jet saccadé, ce qui ne se produit pas ; d'ailleurs dans les expériences de Fick, il n'y avait pas de tube vraiment capillaire ; le plus petit avait 3 millimètres de diamètre ;

2^o Théorie de Dubois-Reymond : généralement professée, et par laquelle ce serait dans les capillaires que la principale résistance serait offerte à la masse du sang, car c'est là que le frottement intérieur serait très accru par l'énorme multiplication de la surface avec laquelle le sang est en contact ;

3^o Théorie de Campbell (*Lancet*, 1874) : Les capillaires offriraient peu d'obstacles au courant sanguin, et la principale résistance serait rencontrée dans les

artères. Cette théorie est basée sur les raisons suivantes :

a) Quand on fait la section des splanchniques, il y a par vaso-dilatation des artères afflux de sang des capillaires dans les veines, avec un débit trop rapide pour qu'on puisse considérer que ceux-ci offrent une grande résistance ;

b) Si la pression était très grande dans les capillaires, il devrait y avoir œdème à leur niveau et compression à l'autre extrémité ;

c) Les capillaires étant très courts, il suffit d'une faible différence de pression à leurs extrémités pour que l'écoulement puisse se faire.

4° B. Lewy a cherché à élucider cette question par le calcul, et après des considérations longues et quelquefois discutables, il conclut que : c'est au plus le $1/14$ de la pression totale du sang qui est employée dans les capillaires, et ce serait bien dans les petites artères, celles qui précèdent immédiatement les capillaires, conformément à l'opinion commune, que l'on observerait la plus forte diminution de la pression totale. Ces petites artères seraient donc les organes régulateurs de la pression du sang.

2° TRAVAUX DE BOTTAZZI

(*Archives italiennes de Biologie*, 1898.)

Cet auteur étudia la viscosité de quelques liquides organiques et de quelques solutions aqueuses de substances protéiques.

Il appliqua la méthode de Poiseuille en opérant avec le viscosimètre d'Ostwald. Pour cela, il faisait passer dans un même tube capillaire le même volume à une même température du liquide à étudier et d'eau distillée ; en faisant le quotient des temps que mettent respectivement le liquide et l'eau à traverser ce tube capillaire, il obtenait le coefficient de viscosité relatif du liquide étudié.

L'appareil (fig. 6) se compose d'un tube recourbé

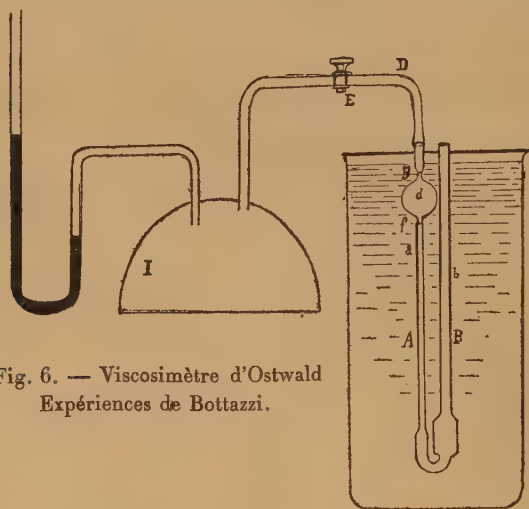


Fig. 6. — Viscosimètre d'Ostwald
Expériences de Bottazzi.

en U dont la branche *a* est un tube capillaire bien calibré surmonté d'une boule *d*, deux repères *f* et *g* sont placés au-dessus et au-dessous de la boule ; celle-ci est reliée par un tube coudé *D* muni d'un robinet à un récipient dans lequel on peut diminuer la pression par simple aspiration ; un manomètre qui y est adapté indique exactement cette pression. Le viscosimètre est placé dans un thermostat dont la

température constante est obtenue à l'aide d'eau constamment agitée. Cette température, peut naturellement varier selon le gré de l'opérateur, mais elle était généralement de 15° C ou de 39° C. Le tube capillaire avait, dans les expériences de Bottazzi, 10 à 12 centimètres de longueur et la boule avait une contenance de 6 centimètres cubes ; le diamètre du tube capillaire était tel que la durée de l'écoulement était généralement supérieure ou égale à cent secondes, de façon à éviter les erreurs personnelles. La pression négative du récipient I était égale à — 240 millimètres d'eau. Après chaque expérience, l'appareil était démonté et le tube lavé successivement avec de l'eau distillée, de l'alcool, de l'éther et séché par un courant d'air sec ; de plus, de temps en temps, on le lavait avec un acide étendu.

L'expérience est ainsi conduite :

On verse 8 centimètres cubes de liquide à examiner dans le tube *b* ; ce liquide prend en une heure environ la température de l'eau du thermostat ; on ferme le robinet E, on fait le vide partiel, toujours le même et égal à — 240 millimètres d'eau par aspiration dans le récipient I, puis on ouvre le robinet E ; le liquide à examiner monte alors dans le tube capillaire et quand il a atteint le point de repère *f*, on note le nombre de secondes qu'il met à atteindre le niveau *g*.

Soit donc *t* le temps d'écoulement du liquide normal, c'est-à-dire de l'eau distillée.

s. Son poids spécifique ;

ρ. Son coefficient de viscosité.

t , s , ρ , les valeurs correspondantes du liquide à étudier,

Nous avons vu dans le chapitre des généralités que l'on a :

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{s^t}{s_0 t_0}$$

Dans cette formule on peut faire, comme nous l'avons vu : $\rho_0 = 1$; $s_0 = s = 1$.

Quand on opère dans des limites de températures convenables et sur des liquides de l'organisme (les poids spécifiques étant peu différents).

On a donc la formule qui donne le coefficient de viscosité relatif :

$$\mu = \frac{t}{t_0}$$

Pour chaque détermination, il est bon de faire plusieurs expériences (Bottazzi en faisait 3).

Voici résumés les résultats de ses recherches :

I.— *Sérum*.— 1° Sérum de sang de chien pris dans la veine jugulaire avant la narcose.

Le sang est défibriné par agitation dans un flacon fermé avec des perles de verre, puis centrifugé.

Il a trouvé que :

à 15 degrés..... $\eta = 2,0233$

à 39 degrés..... $\eta = 1,84$

2° Sérum de sang de chien néphrectomisé bilatéralement

à 15 degrés..... $\eta = 2,0486$

à 39 degrés..... $\eta = 1,84$

De ces deux expériences, il faut conclure que :

a) La viscosité du sérum est peu modifiée (contrairement à l'abaissement du point de congélation qui était passé de $\Delta = -0,588$ à $\Delta = -0,842$), ce qu'on explique en disant que les variations du contenu salin modifient peu la viscosité du sang.

b) Le coefficient de viscosité des solutions de matières colloïdes diminue en fonction de la température d'une quantité proportionnellement supérieure à celle de la diminution du coefficient de viscosité de l'eau distillée et très probablement aussi des solutions salines.

II. — *Lympe* prise dans le conduit thoracique d'un chien en digestion. On laissa coaguler et on filtra.

On trouva :

à 15 degrés..... $\eta = 1,573$

à 39 degrés..... $\eta = 1,468$

Or, on sait que dans la lympe il y a moins de substances protéiques que dans le plasma sanguin. Le coefficient de viscosité est ici plus petit que celui du sérum, mais sa diminution à une température plus élevée est moins considérable.

III. — *Lait de vache*. — Avec le lait entier on a trouvé :

A 15 degrés..... $\eta = 2,2$

A 39 degrés..... $\eta = 2,2$

Cette absence de différence tient peut-être à ce que le lait renferme peu de matières protéiques.

Bottazzi pense que les différences entre les nombres obtenus pour le sérum du sang, la lymphe et le lait tiennent à ce que ces liquides renferment des substances protéiques en quantités différentes.

L'auteur a remarqué par contre que l'abaissement du point de congélation du sang ($\Delta = - 0,588$), de la lymphe ($\Delta = - 0,63$) et du lait ($\Delta = - 0,59$) sont assez voisins ; c'est qu'en effet des mécanismes particuliers règlent le contenu constant en sels libres des liquides de l'organisme, tandis que le contenu protéique ne paraît soumis à aucune loi.

IV. — *Bile*. — Une première expérience fut faite avec la bile de bœuf très fluide ; les temps d'écoulement furent :

A 15 degrés..... 32' 53''5

A 39 degrés..... 17' 10''5

Une deuxième expérience faite avec de la bile de chien très filante donna les temps d'écoulement suivants :

A 15 degrés..... 94' 25''9

A 39 degrés..... 52' 38''4

Ces grandes différences s'expliqueraient par la présence dans ce dernier cas d'une grande quantité de la substance protéique spéciale de la bile, une nucléo-albumine.

V. — Dans le but de déterminer l'influence d'une substance colloïde sur la viscosité des solutions salines, Bottazzi détermina la viscosité de mélanges de

titres variables d'une solution de NaCl à 1 o/o et d'albumine d'œuf battu longtemps et filtré.

Il vérifia à nouveau que plus les solutions renferment une grande proportion de matières protéiques et plus la viscosité augmente ; mais il n'en a pas tiré de loi mathématique.

VI. — La nature de la substance protéique a une très grande influence sur la viscosité, et il semble bien résulter des expériences entreprises à ce sujet que la viscosité augmente avec la complexité moléculaire de la substance protéique dissoute dans le liquide à examiner. Ce fait fut vérifié en employant successivement comme protéide : des nucléo-albumines, des protéines vraies, des alcali et acidalbumines, des protéoses et des peptones. Il y eut exception cependant, pour l'hémoglobine qui est une protéide complexe et dont les solutions ont cependant une faible viscosité ; mais cette anomalie s'explique peut-être par ce fait que, l'hémoglobine est cristallisable.

Il semble de plus qu'il existe une certaine concentration des solutions de substances protéiques pour laquelle la viscosité a un très grand coefficient ; ce serait par exemple 8 o/o pour la caséine.

Bottazzi explique ce fait en disant que la cohésion des molécules ou des groupes moléculaires du corps protéique est telle qu'elle oppose un empêchement énorme à leur mouvement pour ces degrés de concentration.

VII. — *Sang.* — Le but des expériences fut de

voir la différence de viscosité du sang *in-toto* mais défibriné de celle du sérum ; dans toutes il trouva l'influence retardante très nette des globules.

Ainsi dans une expérience, il trouva à 39 degrés :

Pour le sang défriné $t = 5'22''9$

Pour le sérum $t = 1'16''3$

C'est un fait que nous avons observé d'une façon constante dans le cours de nos expériences personnelles. Nous avons effectué celles-ci à température constante de 37 degrés avec le viscosimètre de A. Mayer que nous décrirons plus loin et qui plongeait dans un récipient contenant de l'eau à 37 degrés. Celui-ci était placé dans une étuve de Roux. Le sang était obtenu par une saignée faite au pli du coude et recueilli dans trois tubes de verre de 10^{cm3} ; deux de ces tubes avaient la paroi intérieure enduite d'une couche de paraffine, pour diminuer les chances de coagulation.

Dans un premier tube paraffiné, nous mettions quelques centigrammes d'oxalate de potassium et nous recueillions le sang coulant de la veine. Dès que le tube était presque rempli, nous agitions ; le sang était ainsi rendu incoagulable. Cette prise de sang nous permettait d'opérer sur le sang total oxalaté.

Nous faisons la même opération avec un deuxième tube paraffiné, mais nous le soumettions à la centrifugation, afin de pouvoir opérer ultérieurement sur le plasma.

Nous recueillions enfin la même quantité de sang dans un tube non paraffiné, ne renfermant pas d'oxalate et soumis aussi à la centrifugation afin de pouvoir opérer ultérieurement sur le sérum.

Dans chaque cas, nous avons fait la numération des globules rouges. Le tableau suivant, dressé d'après les expériences faites avec le sang total oxalaté, montre que la viscosité du sang varie évidemment avec le nombre des globules rouges, mais que cette variation seule est insuffisante pour expliquer le sens des variations de viscosité.

Numéros des expériences	Temps en secondes mis par le sang total oxalaté pour couler de M en N dans le viscosimètre	Nombre de globules rouges
1	69	3.700.000
2	69	3.800.000
3	70	3.850.000
4	70	4.500.000
5	82	4.470.000
6	104	3.740.000
7	108	4.780.000
8	123	4.800.000

Il est probable que les nombres mesurant les temps sont tous un peu trop élevés, car malgré les précautions prises nous ne pouvions éviter une certaine sédimentation que nous réduisions au minimum en ayant soin, avant d'effectuer la mesure des temps, de faire mouvoir le liquide dans le viscosimètre au moyen de la poire de caoutchouc.

On pourrait imaginer une expérience qui permettrait d'étudier l'influence exacte du nombre des globules rouges sur la viscosité ; il suffirait d'effectuer ces recherches sur des globules rouges en suspension dans des liquides isotoniques au sérum sanguin.

De toutes ses recherches, Bottazzi tire cette conclusion que jusqu'ici dans l'étude de la circulation, on a peut-être donné une importance trop exclusive aux propriétés classiques des parois vasculaires et que la considération de l'état colloïde et la plus ou moins grande viscosité des liquides circulants devraient être à envisager.

3^e TRAVAUX DE HÜRTHLE

(*Archives de Pflüger*, vol. LXXXII, 1900.)

Remarque préliminaire. — Dans ce travail et dans le suivant, les auteurs se sont servis de la formule de Poiseuille $Q = K \frac{D^4 H}{L}$, K étant le *coefficient* de viscosité du liquide employé et qui est d'autant plus grand que la viscosité est plus petite. Cette remarque facilitera la compréhension des chiffres obtenus.

Jusqu'ici les expériences faites dans le but de déterminer la viscosité du sang, avaient été effectuées en se servant de sang rendu incoagulable par défibrination ou par l'oxalate de potassium, donc modifié chimiquement ; aussi, Hürthle critique les résul-

tats obtenus en s'appuyant sur ces faits et sur ce que, malgré les précautions prises, les auteurs précédents n'ont pu éviter une certaine sédimentation du sang, variable d'ailleurs avec les espèces et les individus, ce qui doit troubler les résultats d'une façon très notable.

En appliquant la méthode générale, c'est-à-dire en déterminant le temps qu'une certaine quantité de sang, sous une certaine pression, met pour passer à travers un tube capillaire, de dimensions déterminées, Hürthle s'est proposé comme but d'effectuer la mesure de la viscosité du sang vivant avant sa coagulation, donc dans le moins de temps possible en faisant passer le sang immédiatement de l'artère dans le tube capillaire, en employant comme force motrice la pression artérielle.

On anesthésie l'animal sur lequel on opère ; on met à nu les deux carotides ; la carotide gauche est reliée avec un manomètre à mercure qui enregistre la pression artérielle ; tandis que pour la carotide droite le sang est conduit par un tube court dans le tube capillaire servant à la mesure de la viscosité.

De plus, le dispositif employé permettait :

1° De recueillir le sang qui vient du tube capillaire sans aucune perte pour en mesurer exactement le volume ;

2° De commencer à recueillir celui-ci quelques instants après que le tube capillaire est rempli de sang c'est-à-dire après que les premières gouttes sont déjà sorties, car ce n'est qu'à ce moment que le courant

dans le tube capillaire rencontre une résistance constante ;

3° De mesurer le temps d'écoulement très exactement, ce qui est indispensable, étant donné le peu de durée de l'expérience ;

4° D'exécuter l'expérience en moins d'une demi-minute après l'ouverture de l'artère.

Nous ne décrirons pas l'appareil assez compliqué de détails mais nous donnerons cependant quelques renseignements sur la technique employée :

1° *Mesure du temps.* — Le temps de l'écoulement était mesuré par l'enregistrement automatique du moment où l'on commençait et de celui où l'on finissait de recueillir le sang.

On avait ainsi le temps mesuré à un centième de seconde.

2° *Détermination du volume du sang.* — La mesure de la masse de sang écoulee ne peut se faire volumétriquement d'une façon très précise, car cette masse est trop petite ; on opérait alors ainsi : le sang recueilli est pesé sur une balance de précision et le volume est calculé d'après son poids spécifique mesuré à chaque fin d'essai à l'aide d'un pycnomètre de col assez large pour faire sortir facilement le sang coagulé, cette opération se faisait à 37°.

3° *Mesure de la pression sous laquelle le sang coule pendant le temps de l'expérience.* — La pression artérielle servait de force motrice et était mesurée à l'aide d'un manomètre à mercure permettant d'apprécier les pulsations de 0 mm.5 à 1 millimètre de

mercure ; on note pendant toute la durée de l'expérience la pression à chaque pulsation et on prend la moyenne des nombres trouvés ; le zéro du manomètre doit naturellement se trouver à la même hauteur que l'ouverture du tube capillaire.

4° Réunion du tube capillaire avec la carotide et protection du tube contre le refroidissement. — Cette réunion s'effectuait par un tube en verre coudé à angle droit, ce dernier aussi près que possible du tube capillaire.

Le tube capillaire était plongé dans l'eau à 37°.

Aussitôt après l'expérience, il était nettoyé avant la coagulation par le procédé déjà indiqué, (lavage à la soude à 10/0 puis à l'eau distillée, alcool et éther, enfin séchage à l'air chaud).

5° Enfin les tubes capillaires étaient exactement calibrés et les calibres exactement mesurés. — Avant d'expérimenter d'une façon définitive, il fallait vérifier les points suivants :

1° Un écoulement de vingt à trente secondes est-il suffisant ? — Des expériences furent faites avec l'eau distillée et les résultats furent trouvés comparables à ceux de Poiseuille.

2° La loi de Poiseuille est-elle valable quand la pression est soumise à des oscillations rythmiques ? — Là aussi on opéra avec de l'eau distillée coulant dans un tube capillaire sous l'influence d'une pression rythmée ; les résultats furent trouvés identiques à ceux obtenus avec une pression constante égale à la moyenne arithmétique des pressions rythmées.

3° *La loi de Poiseuille est-elle encore valable pour les liquides renfermant des éléments plastiques?* — Hürthle vérifia qu'il suffit pour cela que les tubes aient des dimensions assez grandes par rapport aux éléments plastiques. Ceux de Hürthle avaient de $\frac{1}{10}$ à $\frac{11}{10}$ de millimètre de diamètre et 240 millimètres à 501 millimètres de longueur.

4° *Enfin le sang subit-il en moins de une demi-minute des modifications amenant un commencement de coagulation et influençant par conséquent la viscosité?* — Ce fait ne parut pas possible à Hürthle, car dans ses expériences, le sang était constamment en mouvement.

Cependant l'objection avait quelque valeur en ce qui concerne la couche de sang voisine de la paroi du tube et qui y adhère plus ou moins.

Aussi Hürthle fit l'expérience complémentaire suivante : il opéra sur un chien et recueillit le sang en deux fois ; il vit que, toutes proportions gardées, il y a peu de différence entre les résultats trouvés pendant la première moitié et la deuxième moitié de chaque expérience. Or, si l'objection était vraie, la viscosité devrait être trouvée plus grande pendant la deuxième partie que pendant la première.

Ayant ainsi vérifié la sûreté de sa méthode il fit 12 expériences sur 6 chiens, 4 chats, 2 lapins. Il trouva ainsi que les coefficients de viscosité sont :

Pour le chien... $K = 1011$

Pour le chat... $K = 1228$

Pour le lapin... $K = 1461$

Le coefficient K de l'eau distillée étant 4788 à la température où opérait Hürthle, il en conclut que les valeurs relatives de la viscosité du sang total sont :

Chez le chien... $\eta = 4,7$

Chez le chat... $\eta = 4,2$

Chez le lapin... $\eta = 3,3$

Mais ces moyennes ne sont naturellement qu'approximatives car la viscosité dépend pour le même animal du genre de nourriture, et c'est précisément cette remarque qui a amené Burton-Opitz à étudier l'influence de l'alimentation sur la viscosité du sang.

4° TRAVAUX DE BURTON-OPITZ

A) *Variations de la viscosité du sang sous certaines influences*

(*Archives de Pfflüger*, vol. 82, 1900.)

L'auteur admettant l'exactitude de la méthode de Hürthle et l'adoptant s'est proposé de rechercher successivement l'influence :

de la narcose,

de la saignée,

de l'alimentation,

sur la viscosité du sang.

1° *Influence de la narcose.* Il expérimenta sur des

lapins et trouva des nombres peu différents avant et après la narcose :

$K = 1295$ avant la narcose

$K = 1290$ après la narcose

2° *Influence de la saignée.* — Les expériences ont été faites sur des chiens une demi-heure après la saignée. B. Opitz obtint une diminution de la viscosité, mais non proportionnelle à l'importance de la saignée, ni à la diminution du poids spécifique, ce qui prouve évidemment que les facteurs qui influent sur la viscosité et le poids spécifique du sang ne sont pas les mêmes.

Nous ferons remarquer que c'est là un fait naturel, car après la saignée les éléments contenus dans le sang ne sont pas diminués dans une même proportion.

3° *Influence de l'alimentation.* — a) *Essais sur les chiens.* — B. Opitz mesura la viscosité :

Après le jeûne ;

Après une alimentation hydro-carbonée ;

Après une alimentation grasse ;

Après une alimentation carnée.

Mais cependant, ces alimentations n'étaient pas exclusives.

Il trouva alors que la viscosité du sang est minima dans le jeûne, et maxima dans l'alimentation carnée ; il trouva en même temps une variation dans le même sens mais non proportionnelle du poids spécifique.

Il constata aussi que la viscosité du sang et celle du sérum varient dans le même sens, mais non proportionnellement, et que même dans l'alimentation carnée la viscosité du sérum n'est pas modifiée.

b) *Expériences sur les lapins :*

pendant le jeûne ;

après alimentation formée de carottes et de feuilles de choux ;

après une alimentation formée par de l'avoine.

Le minimum de la viscosité a lieu dans l'alimentation par les carottes qui renferment beaucoup d'eau, le maximum par l'alimentation d'avoine qui renferme beaucoup plus d'albumine.

La viscosité pendant le jeûne est beaucoup plus grande que pendant l'alimentation par les carottes, car dans ce cas le lapin devient carnivore.

Là encore il y a variation dans le même sens du poids spécifique, mais non proportionnellement.

Comme l'avait déjà montré Hürthle, la viscosité du sang de lapin est plus faible que celle du sang de chien.

B. — *Comparaison de la viscosité du sang normal avec celle du sang oxalaté et du sang défibriné, et du sérum de sang à différentes températures.*

(*Archives de Pfflüger*, vol: 82, 1900)

1° *Sang normal avec sang oxalaté ou défibriné.*

— B. Opitz détermine d'abord la viscosité du sang

vivant par la méthode de Hürthle ; puis il sacrifie l'animal par une saignée, et du sang recueilli il fait trois parts :

Une première partie est défibrinée ;

Une deuxième portion est oxalatée (2 cmc. d'une solution d'oxalate de potassium à 20/0 pour 100 cmc. de sang) ;

La troisième portion servira à recueillir le sérum.

Les expériences ainsi faites ont montré que le sang défibriné a une viscosité un peu moins élevée que le sang normal, tandis que le sang oxalaté a une viscosité un peu plus élevée ; les poids spécifiques varient dans le même sens.

De plus B. Opitz a vu que le sang défibriné abandonné à lui-même augmente sa viscosité jusqu'à ce que celle-ci redevienne normale ; cette augmentation est probablement due à l'empilement des globules ou à des modifications de leur forme.

2° *Influence de la température sur la viscosité du sang.* — Nous avons vu que cette question avait déjà été traitée par Haro, Ewald, et par Léwy qui avaient trouvé des résultats contradictoires.

B. Opitz reprit donc les expériences et détermina les variations de viscosité de 5 degrés en 5 degrés, en calculant le coefficient K (qui on le sait est inversement proportionnel à la viscosité) toujours d'après la méthode de Hürthle.

Il trouva que la viscosité du sang défibriné diminue quand la température augmente, mais de telle façon que K augmente d'une quantité plus faible,

pour chaque augmentation régulière de la température, dans un sang très visqueux, que quand il s'agit d'un sang moins visqueux, et que ces variations ont été constantes dans les intervalles de température de 15° à 40° pour les mêmes différences de température.

3° *Influence de la température sur la viscosité du sérum.* — On sait que pour l'eau et les solutions salines ne renfermant pas d'éléments plastiques la viscosité diminue beaucoup plus rapidement avec la température que pour le sang ; il était donc intéressant de voir si le sérum se comportait comme ces liquides homogènes. C'est ce que B. Opitz vérifia facilement ; il trouva en effet que comme pour l'eau et les solutions aqueuses, la viscosité du sérum diminue de quantités inégales pour des variations égales de la température, et que cette diminution est plus grande avec les hautes températures. Il en conclut que la constance dans les variations de la viscosité du sang sous l'influence des variations de la température est due aux éléments plastiques du sang qui doivent subir des modifications compensant la diminution de la viscosité des éléments liquides du sang.

C. — ÉTUDE COMPARATIVE SUR LA VISCOSITÉ DU SANG
D'ANIMAUX A SANG FROID

(*American Journal of Physiology*, 1902.)

Dans ce travail, B. Opitz se servit encore de la méthode et de l'appareil de Hürthle.

10) *Viscosité du sang vivant de la grenouille.* — Il utilisa les aortes (toutes les autres artères étant beaucoup trop petites) ; l'aorte gauche était reliée au tube capillaire, l'aorte droite fournissait les indications de pression ; les canules pénétrant dans les artères étaient aussi voisines que possible du point de division du tronc artériel ; les grenouilles étaient mises deux jours avant l'expérience dans le laboratoire où régnait une température de 20° à 22°.

Le poids spécifique du sang fût déterminé ici par la méthode du flacon, au moyen de petits tubes de verre à parois minces de 1 millimètre de diamètre ; cette méthode était indispensable à employer, car l'usage du pycnomètre était impossible en raison de la très faible quantité de liquide dont on disposait.

De l'ensemble des expériences décrites par B. Opitz, il résulte que le coefficient moyen de viscosité chez la grenouille est égal à 1300, mais qu'il peut varier dans un sens ou dans l'autre de 150 à 200 unités pour des individus différents de la même espèce.

En considérant ces résultats, on peut remarquer que, en dépit de la fluidité apparente du sang de la grenouille, le coefficient moyen de viscosité à 20°, est presque le même que celui du lapin à 37°, qui est de 1350. Cela tient probablement à la basse température du sang de la grenouille, toujours voisine de la température ambiante, et, en effet, si on mesure la viscosité du sang de grenouille oxalaté ou défibriné, porté à 37°, on remarque qu'elle dimi-

nue beaucoup, et que son coefficient devient égal à 1700, alors que celui du lapin reste voisin de 1350.

Le coefficient de viscosité K de l'eau distillée étant à 20° égal à 2336, on en conclut que le sang de la grenouille est à 20°, 2,4 fois plus visqueux que l'eau, et 2,7 fois seulement à 37°, celle de l'eau étant alors de 4696.

De plus, B. Opitz a encore remarqué que des changements notables de la viscosité sont toujours traduits par des changements appréciables du poids spécifique et dans le même sens; mais ces variations ne sont plus précises, et peuvent même être contraires, si l'on s'adresse à des échantillons de sang de viscosité voisine.

2° *Influence du curare et de l'éther sur la viscosité du sang vivant.* — La détermination de la viscosité du sang vivant par la méthode de Hürthle, exige naturellement l'immobilité de l'animal pendant l'expérience, et ce résultat était atteint dans les expériences de B. Opitz par le curare ou l'éther; il devenait alors intéressant de se demander si ces corps en passant dans le sang en modifient sensiblement la viscosité.

Pour répondre à cette question, B. Opitz s'est basé sur ce que la viscosité et le poids spécifique du sang ont des variations parallèles, pourvu que les différences observées soient assez grandes, et ce fait est aussi vrai pour les animaux à sang chaud que pour ceux à sang froid. Il détermina alors le poids spécifique du sang à l'aide du mélange chlo-

roforme-benzine par le procédé décrit par Hammer-schlag et le sang était tiré des ischiatiques.

Avec le curare. — Les poids spécifiques déterminés avant l'injection oscillaient dans une série de sept expériences de 1.032 à 1.044, et après l'injection de 1.0395 à 1.048 : il y a donc une augmentation très nette.

Avec l'éther. — On obtint des résultats comparables.

On doit donc conclure de ces résultats que la viscosité du sang augmente par l'action du curare ou de l'éther.

3° *Viscosité du sang défibriné ou oxalaté.* — Pour faire la comparaison entre le sang vivant et le sang oxalaté ou défibriné, M. Opitz employa pour le sang vivant la méthode des poids spécifiques, et pour le sang défibriné ou oxalaté la méthode ordinaire, en ayant soin pour éviter la sédimentation de bien mélanger le sang avant de le faire passer dans le tube capillaire.

Il tirait alors de l'ischiatique :

1° 3 centimètres cubes de sang auquel il ajoutait deux gouttes d'oxalate de K à 2 o/o.

2° 5 centimètres cubes de sang qu'il défibrinait.

Il ne fallait pas soustraire une plus grande quantité de sang, car il y aurait eu à craindre une dilution par la lymphe.

Comme pour le chien, il trouva une augmentation de la viscosité du sang par l'oxalate et une diminution notable par la défibrination.

4° *Viscosité du sérum.* — Les expériences faites à 20° C montrent que la viscosité du sérum varie beaucoup moins que celle du sang (au maximum le coefficient K varie de 57) chez les individus d'une même espèce. Nous avons personnellement vérifié ce fait chez l'homme.

Donc la viscosité du sang vivant normal dépend beaucoup plus de ses constituants solides que des éléments nutritifs circulants.

A 20° C la viscosité du sérum de la grenouille est égale à celle du chien.

5° *Effets des changements de la température.* — Les expériences ont pour but de voir s'il y a sous l'influence des variations de température des variations de viscosité comme celles observées pour le chien dans les mêmes conditions.

Les poids spécifiques furent déterminés à 5°, 20°, 37° et pour les températures intermédiaires, on fit les calculs en considérant que les variations du poids spécifique sont proportionnelles aux variations des températures.

Il y a correspondance étroite au point de vue qui nous occupe entre le sang de chien et celui de la grenouille à savoir que les variations de la viscosité sont constantes pour les mêmes variations de température et plus la viscosité du sang employé est faible, plus la différence pour chaque intervalle de température est grande ; mais pour la grenouille, ces variations sont plus grandes que pour le chien (200 pour un inter-

valle de 5 degrés chez la grenouille, et la moitié seulement chez le chien).

L'auteur fit encore quelques expériences, trois seulement, sur les tortues et fit à ce sujet des remarques analogues à celles qu'il tira de la comparaison du sang de grenouille avec celui du lapin.

On peut résumer ce travail de la façon suivante :

1° Les coefficients moyens de la viscosité du sang de grenouille : sont à 20° 1300 et à 37°. . . 1700
de tortue — — 1285 — 37°. . . 1800
du lapin — — — 37°. . . 1350

2° La viscosité du sang de la grenouille et de la tortue varie en raison inverse de la température, et pour la grenouille le coefficient change de 200 unités pour un intervalle de 5 degrés.

3° La viscosité du sérum de sang de grenouille à 20 degrés est égale à 1800 ;

4° Le coefficient de viscosité du sang normal vivant peut varier beaucoup chez les individus d'une même espèce, et aussi dans les différentes espèces, mais celui du sérum varie peu.

Ces grands changements de la viscosité du sang dépendent surtout des éléments solides beaucoup plus que des éléments constitutifs du plasma.

5° Le poids spécifique du sang de la grenouille est rendu variable avec la température à laquelle est soumis l'animal ;

6° Le poids spécifique du sang de grenouille est augmenté par l'oxalate de K, le curare et l'éthérisation profonde, et diminué par la défibrination.

Comme des changements similaires sont observés dans la viscosité, des variations assez grandes des poids spécifiques peuvent être pris comme index des variations de la viscosité.

5° TRAVAUX DE A. MAYER

(Société de biologie, 1901-1902.)

A. — *Description du viscosimètre de A. Mayer* (fig. 7)

Pour faire ses expériences, Mayer a modifié le viscosimètre d'Ostwald, et il préconise alors l'appareil suivant :

Soit un tube capillaire de verre U à branches paral-

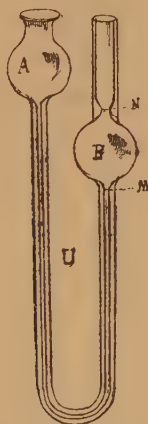


Fig. 7. — Viscocimètre de Mayer.

lèles ; à la partie supérieure d'une des branches est adapté un réservoir en forme de sphère creuse A ouverte à sa partie supérieure, et surmontée d'un goulot. En un point de l'autre branche est soufflée une seconde sphère de dimensions égales à la première.

Les sphères occupent sur l'U, une position telle que le raccord supérieur de la seconde avec le capillaire est situé dans un plan un peu inférieur au raccord inférieur de la première. Lorsqu'un liquide est placé dans la sphère A, il s'écoule de lui-même dans la branche descendante du capillaire, puis dans la branche montante, et s'élève peu à peu dans la sphère B. On mesure au compte-secondes le temps qui lui est nécessaire pour remplir cette sphère de M. en N. Comme on a préalablement fait la même mesure pour l'eau distillée choisie comme étalon, une simple division des deux temps donne le coefficient de viscosité relatif.

Pour effectuer une mesure, il faut prendre dans tous les cas la même quantité de liquide et bien lubrifier les parois des capillaires. Pour cela l'extrémité du capillaire qui surmonte la sphère B est reliée par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc à une poire de caoutchouc mobile qui permet d'aspirer ou de refouler à volonté le liquide dans l'appareil.

Toutes les mesures doivent être prises à température constante, et comme l'appareil est peu volumineux, il est facile à mettre dans une étuve.

L'appareil exige peu de liquide ; sa construction permet de ne pas tenir compte des différences de densité. Le liquide descend d'autant plus vite dans une branche que sa densité est plus forte ; par contre, il monte plus lentement, et la compensation pourrait être parfaite, si l'on donnait à l'espace ver-

tical une hauteur inversement proportionnelle à la densité de chaque liquide à examiner.

A cet effet, il suffirait de remplacer la partie inférieure de l'U par un tube de caoutchouc, et de mouvoir les deux sphères en sens inverse le long d'une tige graduée. Pratiquement, cette correction n'est pas nécessaire, car pour les nombres entre lesquels sont compris les densités des liquides physiologiques, l'erreur dans la mesure du coefficient de viscosité au moyen de l'appareil de verre ne porte que sur des millièmes.

2° Rôle de la viscosité dans les échanges osmotiques

Mayer a montré que lorsqu'on ajoute à une solution saline une substance visqueuse comme l'albumine, la gomme adragante, la gomme arabique, la mucine, le pouvoir osmotique de la solution diminue bien que le point cryoscopique n'ait pas changé, et que, partant, sa tension osmotique soit restée la même ; de plus, il a vu que plus la viscosité augmente, plus le pouvoir osmotique diminue ; donc la viscosité d'un liquide apparaît comme une force de résistance à l'action de la tension osmotique des sels qui sont en dissolution dans ce liquide ; donc, quand on veut se faire une idée du pouvoir osmotique d'un liquide, il faut non seulement tenir compte de sa tension osmotique par la cryoscopie, mais aussi de sa viscosité.

Les liquides visqueux s'opposent ainsi à la plasmolyse des cellules végétales et à l'hémolyse des

globules rouges ; donc ce sont des liquides conservateurs des cellules.

Normalement, le coefficient de viscosité des liquides organiques comme leur point cryoscopique varie peu dans la même espèce animale ; mais à l'état pathologique, il n'en est pas ainsi ; or dans certains états pathologiques, des malades ont une tension osmotique très élevée qui devrait provoquer certains phénomènes réactionnels, comme l'excitation convulsive des centres nerveux (ainsi que Mayer l'a déjà montré) ; or il n'en est rien, car l'élévation de la tension osmotique est immédiatement compensée par une augmentation parallèle de la viscosité du sérum (fièvre typhoïde, diphtérie).

3° *Coefficients de viscosité du sérum et du plasma sanguin normaux chez quelques animaux.*

Les liquides étaient à 40° et les mesures effectuées avec précision chez des animaux de même taille en général.

1° *Sérum de porc* (15 observations) ; les nombres variaient entre 1,68 à 1,75 avec une moyenne de 1.69.

2° *Sérum de mouton* (10 observations).

Les nombres variaient entre 1,70 à 1,75 avec comme moyenne 1,72.

3° *Sérum de bœuf* (10 observations).

Les nombres trouvés variaient entre 1,74 et 1,95 avec comme moyenne 1,77 ; la plus haute valeur trouvée de 1,95 correspondait à un bœuf primé.

4° *Sérum de cheval* (6 observations).

Les nombres variaient entre 1,69 à 1,77 avec comme moyenne 1,72.

5° *Sérum de chien* (7 observations).

Les nombres variaient entre 1,53 à 1,63 avec comme moyenne 1,66.

6° *Lapin* (7 observations).

Les nombres variaient entre 1,41 à 1,46 avec comme moyenne 1,43.

7° *Homme* (2 observations) on trouva 1,56 dans les deux cas.

Ces nombres montrent donc qu'il y a peu de variations de la viscosité du sérum chez les individus d'une même espèce.

Mayer détermina aussi la viscosité du plasma fluoré de ces animaux ; il mélangeait 9 volumes de sang avec 1 volume de fluorure de sodium en dissolution à 3 o/o. Il laissait déposer les globules, et décantait le plasma dont il mesurait alors la viscosité :

Il a trouvé des variations assez grandes de celui-ci de 1,58 à 2,29 sur 20 observations.

Nous avons cherché à vérifier ces faits chez l'homme.

Nous avons opéré, comme nous l'indiquons plus haut, en nous servant du viscosimètre de Mayer placé dans une étuve de Roux à 37°. Comme dans la plupart des cas nous mesurons en même temps la viscosité du sang total oxalaté, du plasma oxalaté et du sérum chez le même individu, nous disposions de trois viscosimètres dont les tubes capillaires étaient différents ; celui de plus grand diamè-

tre servait pour le sang total ; celui de diamètre moyen pour le plasma et l'autre pour le sérum ; ils étaient fixés entre deux planchettes adaptées sur une cuve renfermant de l'eau à 37°, dans laquelle plongeaient nos viscosimètres. De cette façon, les liquides se mouvant dans les viscosimètres étaient rapidement à la température normale de 37° ; nous n'effectuions d'ailleurs les mesures que lorsqu'il en était ainsi et les temps mis par les liquides pour passer au niveau M en N n'étaient (en ce qui concerne le sérum et le plasma) considérés comme vrais que lorsque dans trois mesures successives ils variaient au plus de une seconde.

Sur 11 observations, prises chez des malades différents non soumis par conséquent à des conditions identiques (8 tuberculeux, 1 névropathe, 2 cardiaques) les temps furent trouvés variant de 1'18" à 1'40" ce qui donne pour coefficients de viscosité relatifs des nombres variant de 1,66 à 2,12 (l'eau distillée à 37° mettant dans notre viscosimètre à sérum 47 secondes pour passer de M en N). Etant donné que nos malades n'étaient soumis à aucune identité de régime, ni de vie, on voit que le sérum quant à sa viscosité présente une assez grande constance.

En ce qui concerne le plasma, notons qu'il y avait d'abord un parallélisme de sens entre les variations de la viscosité du sérum et celles du plasma, mais pour ce dernier ces variations étaient moins larges puisque les temps ne varient qu'entre 1'12" et 1'22" ce

qui donne pour coefficients de viscosité relatifs des nombres variant entre 2 et 2,28 (le temps mis par l'eau distillée pour aller de M en N dans le viscosimètre à plasma étant de 36 secondes).

4° *Etudes viscosimétriques sur la coagulation des albuminoïdes du plasma sanguin par la chaleur.*

On prend là encore du plasma fluoré préparé comme dans les recherches précédentes.

On remarque un fait très important, à savoir que lorsque la coagulation va se produire, et avant qu'aucun signe, même l'opalescence, l'effet de Tyndall n'en avertisse l'observateur, il y a déjà eu des variations internes se traduisant par une augmentation de la viscosité qui croît jusqu'au moment de la coagulation.

5° *Variations de viscosité et variations des quantités de substances albuminoïdes du plasma.*

L'auteur s'est demandé à quoi est due la différence de la viscosité du plasma chez les individus de la même espèce :

1° A la densité ? Non, d'après ses expériences facilement réalisables ;

2° Aux variations de poids sec du plasma total ? Non, car la progression des nombres trouvés représentant la viscosité n'est pas la même que celle des poids secs ;

3° A des différences des poids du fibrinogène ? Non, d'après le dosage de cette substance fait dans plusieurs expériences. Donc, la viscosité du plasma serait indépendante :

de sa densité ;
de la quantité de substance albuminoïde qui y
serait contenue ;

de la quantité de fibrinogène qu'il renfermerait.

Mais peut-être y aurait-il lieu d'envisager une
question de qualité de substance albuminoïde.

6° Mayer a aussi trouvé que, au cours du lavage du
sang, la viscosité du plasma et du sérum diminue
graduellement, mais celle du sérum resterait assez
longtemps élevée.

Ce fait n'a rien de surprenant si l'on se reporte à
la communication que Hallion et Carrion ont faite au
Congrès International de médecine à Paris en 1900.
Ces auteurs ont en effet montré que dans les injections
de solutions de NaCl, il se produit des modifications
des propriétés physiques des albumines, et
en particulier une diminution de leur coagulabilité.

6° TRAVAUX DU D^r SEGALE

(*Archives italiennes de Biologie*, 1907)

L'auteur étudia quelques propriétés physico-chimiques
du sérum de sang dans diverses lésions
expérimentales ; en particulier, il fit des recherches
sur :

1° les variations de la concentration moléculaire
par la cryoscopie ;

2° les variations de la conductibilité électrique ;

3, les variations de la viscosité du sérum par le viscosimètre d'Ostwald dans un thermostat.

C'est de ce dernier point surtout que nous nous occuperons.

Dans toutes ses expériences, Segale a corrigé les nombres trouvés par rapport au poids spécifique en appliquant la formule :

$$\eta = \frac{st}{s_0 t_0}$$

Les poids spécifiques étaient déterminés à l'aide d'un pycnomètre de 5 centimètres cubes pesé au 1/5 de milligramme.

Les mesures étaient effectuées à 37°, le coefficient de viscosité de l'eau distillée à cette température étant égal à 1, il a trouvé pour le sérum des coefficients variant de 1,43 à 1,92.

Ces nombres concordent avec ceux de Rossi (1,49 à 1,94) et ceux de Trommsdorf (1,63 à 1,83).

Ces variations, assez amples pour des animaux de la même espèce, ne se voient pas pour le même animal observé pendant un temps assez long; donc en ce qui concerne la viscosité du sérum on ne peut jamais établir le degré de variation par rapport à la normale d'un animal donné sans avoir constaté d'abord et à plusieurs reprises les valeurs qui lui sont propres.

De plus le coefficient η varie avec le sang considéré ; ainsi, pour le sang veineux, η a été trouvé dans trois expériences égal à 1,60, 1,60, 1,64, alors

que pour le sang artériel on avait trouvé dans ces trois cas 1,51, 1,50, 1,54.

Pourtant, d'après Fano, cette différence ne serait pas due à CO_2 . Segale a encore trouvé que la viscosité serait aussi diminuée chez les animaux à jeun non privés d'eau.

En résumé, de ces premières expériences, l'auteur conclut que :

1° La viscosité du sérum varie dans des limites assez larges pour qu'on ne puisse accepter une valeur moyenne ;

2° Le coefficient de viscosité varie dans des limites beaucoup plus restreintes, quand les conditions expérimentales sont demeurées constantes.

3° La viscosité dépend peu de la concentration moléculaire, et de la conductibilité électrique ;

4° La viscosité du sang veineux est plus élevée que celle du sang artériel.

Etude de la viscosité (calcul de η) dans l'anurie expérimentale

L'anurie fut produite par l'extirpation des reins ou par la ligature des uretères, ou en interrompant la circulation rénale; dans ces trois cas, la durée de la vie fut à peu près la même d'environ 50 à 70 heures.

Les animaux ne furent pas anesthésiés, et les mesures furent effectuées plusieurs fois chez le même

animal avant sa mort. Nous citerons par exemple deux des expériences après la néphrectomie.

Expérience V. — L'animal est soumis au jeûne absolu cinq jours avant l'opération, et le jeûne fut continué jusqu'à la mort. La survie fut de 60 heures.

Voici les nombres trouvés :

	19 mars	24 mars	25 mars	26 mars
Valeurs de η	1,64	1,62	1,58	1,43
Poids spécifiques	1026,7	1027	1028	1089,4

Expérience XII. — L'animal fut soumis au jeûne préventif et consécutif à l'opération, mais avec de l'eau à volonté ; la survie fut de 54 heures.

	12 avril	13 avril	14 avril	14 avril
Valeurs de η	1,53	1,40	1,60	1,73
Poids spécifiques	1022,6	1022	1026	1025

Dans les expériences I, IV, V, VI, XIV la diminution de la viscosité était très nette et variait de

1,64 à 1,42	pour l'expérience	I
1,60 à 1,40	—	IV
1,64 à 1,43	—	V
1,64 à 1,48	—	VI
1,506 à 1,392	—	XIV

Ligature des uretères près du hile.

La survie fut de 65 heures.

	8 avril	9 avril	10 avril	11 avril
Valeurs de η	1,59	1,54	1,64	2,11
Poids spécifiques.	1027,1	1027,4	1028,8	

Ligature des vaisseaux du hile.

Expérience VIII. — Survie de 70 heures avec vomissements et reins désagrégés.

	6 avril	7 avril	8 avril	9 avril
Valeurs de η	2,098	1,787	2,057	2,15
Poids spécifiques.	1028,4	1028,7	1031,9	1035

Les expériences montrent que d'une façon générale il y a diminution des coefficients de viscosité, mais dans certains cas cependant il y a augmentation.

Segale s'est demandé si les saignées successives (de 50 cmc. de sang pour obtenir 14 cmc. de sérum) n'avaient pas une influence par elles-mêmes. Il aurait observé que l'influence était très légère comme d'ailleurs celle des vomissements muqueux.

Il faut observer que cette remarque n'est vraie qu'en raison de la faible importance de la saignée sur la masse totale du sang ; d'un autre côté l'auteur fait d'ailleurs observer que l'ingestion aqueuse modifie la viscosité du sérum probablement parce que les animaux absorbaient dans ce cas une quantité d'eau non négligeable.

L'examen des tableaux des expériences permet de conclure que :

1° Dans les premiers temps de chaque expérience,

la viscosité diminue toujours, puis elle se comporte suivant deux tendances opposées :

a) D'abord elle peut continuer à descendre, ce qui est le plus fréquent ;

b) Elle peut s'élever jusqu'à la mort.

2° L'élévation de η est plus grande dans la ligature des uretères que dans les autres procédés d'anurie.

L'augmentation de la viscosité pourrait s'expliquer par l'augmentation du nombre des molécules résultant de l'anurie, mais sa diminution ne s'explique guère ; peut-être y a-t-il formation d'une substance visco-négative.

Ces recherches n'apportent pas beaucoup de lumière sur le processus anurique.

Variations de η dans la parathyréidectomie et dans la thyreidectomie seules ou combinées.

Il n'y eut pas de narcose, pas d'antisepsie, mais de l'asepsie.

1) Parathyréidectomie seule ou combinée à la thyreidectomie.

L'opération fut faite sur des chiens qui présentèrent des accès de tétanie typiques ou larvés ; la survie fut plus longue que dans l'anurie expérimentale (6 à 15 jours) et la viscosité du sérum fut encore mesurée plusieurs fois pendant la survie.

Nous donnons les résultats numériques de deux expériences.

a) Chien opéré le 13 février 1906, de parathyréidectomie et mort le 23.

On observa des accès typiques de tétanie le 14, puis de tétanie larvée jusqu'au 16 avec faits d'asthénie progressive et d'adynamie.

Dates :	14	15	16	17	18	19	23
Valeurs de η	1.601	1.502	1.452	1.452	1.450	1.459	1.321
Valeurs des poids spécifiques	1024.7	1023.4	1020.3	1019.3	1019.2	1019.7	1017

b) Chien opéré de parathyréidectomie le 11 mai et mort le 27.

Dates	11	20	24	27
Valeurs de η	1.61	1.607	1.50	1.74
Poids spécifiques	1027	1021	1021.7	1021.7

D'une façon générale, il résulte de l'examen des tableaux de ces expériences que la viscosité du sérum diminue d'une façon constante et notable jusqu'à la mort ; ou bien elle diminue progressivement, puis remonte brusquement la veille ou le jour de la mort.

Ce fait est donc analogue à ce qu'on voit dans l'anurie expérimentale. Dans les cas où l'augmentation s'observait il existait de petits abcès profonds sous le muscle sterno-thyroïdien.

La conductibilité électrique et la concentration moléculaire varient peu.

2° *Thyréidectomie seule.* — Les résultats ne sont pas très positifs, car un chien thyroïdectomisé en 1905 vivait toujours au moment de la publication de ce travail ; la viscosité du sérum avait peu varié d'ailleurs, 1,82 à 1,84. Mais Segale en effectuant cette opération chez une chienne pleine, a remarqué que η égal d'abord à 1,72 a diminué jusqu'à 1,48 l'avant-veille de la parturition pour remonter à 1,63 un mois après. On ne peut rien tirer de précis sur ce fait, puisque on ne sait comment varie η pendant la gestation.

Comme conclusion de son travail, Segale dit qu'il ne sait à quoi sont dues ces variations de la viscosité du sérum, ni quelle peut être leur influence sur l'échange osmotique entre le plasma et les cellules.

7° TRAVAUX DE ROBERT TISSOT

(*Folia hematologica*, 1907.)

Cet auteur considère d'abord que les facteurs les plus importants qui font varier la viscosité du sang sont, outre des albumines introduites par la nutrition :

- a) Le nombre des hématies ;
- b) Les modifications de leur volume sous l'influence des courants osmotiques qui amènent dans leur intérieur des corps du plasma et entraînent hors d'elles quelques-uns de leurs constituants ;
- c) Enfin la présence de Co^2 , qui en se fixant sur

les hématies modifierait beaucoup la viscosité du sang en agissant de plusieurs manières :

en modifiant l'état de leur surface frottante devenue plus rugueuse, grâce à la formation de bulles gazeuses minuscules de carboxyhémoglobine ;

en augmentant la pression interne des globules rouges, ce qui les rend moins déformables, donc moins aptes à céder devant les frottements qu'ils éprouvent dans les plus fines ramifications du réseau vasculaire ;

en amenant des troubles osmotiques qui se produiraient quand le plasma renferme un excès d'acide. Or, Determann a montré que, à la surface des globules rouges, il y avait des substances colloïdes hypervisqueuses qui passeraient dans le plasma, ce qui favoriserait la dissolution de CO^2 , rendant ainsi le plasma plus acide ; et le fait même de constater que le sérum a une viscosité assez constante, n'est pas une preuve venant détruire cette hypothèse, car on peut admettre que lorsque les globules se séparent du plasma, ils entraînent avec eux ces colloïdes ; ce serait là un phénomène analogue à ce qui se passe dans le collage des vins.

Description d'un nouveau viscosimètre (fig. 8)

Tissot a été amené à construire un nouveau viscosimètre, en observant que la couche d'hématies et de leucocytes qui adhère aux parois du tube capil-

laire est irrégulière ; elle oppose donc au mouvement de la colonne sanguine une résistance variable.

Aussi, il chercha à éliminer cette cause d'erreur en mesurant un autre phénomène dû lui aussi à la viscosité , c'est la formation de remous, de courants dans les liquides au sein desquels se meut un corps

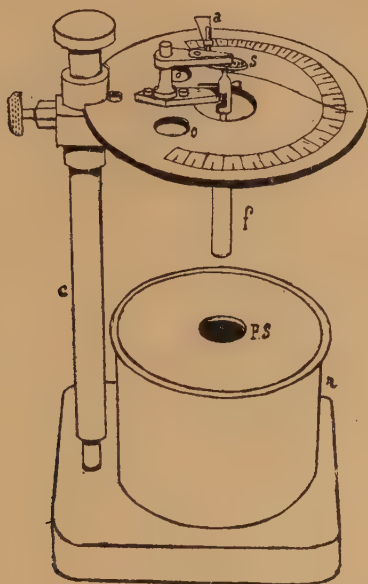


Fig. 8. — Viscosimètre de Robert Tissot.

animé d'un mouvement propre. Ces remous sont d'autant plus étendus que le liquide est plus fluide.

Voici la description complète de cet appareil :

Le récipient qui contiendra le liquide à examiner est une seringue de Pravaz entièrement en verre, à piston uniformément cylindrique et pouvant être retiré par simple traction. Cette seringue a une contenance de 2 centimètres cubes et est divisée en

dixièmes. L'aiguille ou la canule est grosse et courte : la partie effilée du verre qui porte cette aiguille peut être oblitérée par un petit capuchon de gomme. Le corps de la seringue entre à frottement doux dans un tube vertical fixé dans le pied (P S). Ce dernier est lourd et robuste. Il porte un récipient plein de sable dans lequel plonge un thermomètre. A côté de ce récipient est une colonne *c* sur laquelle glisse à frottement doux le mesureur proprement dit. Ce dernier peut être rendu fixe par la vis de pression ; la forme de la colonne l'empêche d'exécuter des mouvements latéraux ; il est constitué par un frotteur ou plongeur métallique doré *f*, dont le poids est exactement équilibré par la poussée hydrostatique du sang normal. Pratiquement, cet organe n'a donc pas de poids. Il est fixé à sa partie supérieure à un axe relié à l'extrémité centrale d'un ressort spiral (s) dont l'autre extrémité terminée en courbe est fixée au bâti qui supporte les pivots.

L'axe porte encore une aiguille qui, lorsque l'appareil est en équilibre, s'arrête sur le zéro de la graduation.

Ce point est opposé à la colonne, et c'est de lui que part la graduation qui est la même des deux côtés et comporte 120 degrés tant à droite qu'à gauche. La partie de la graduation qui répond à la droite de l'observateur porte le signe —, l'autre le signe +.

Sur le cadran court aussi un arrêt (a) qui, ordinairement doit être arrêté sur la division — 120.

Sous le cadran, deux tiges métalliques fixées cha-

cune à un axe sont reliées par un ressort à boudin et fixent l'axe principal aussi longtemps qu'elles sont rapprochées. Pour rendre l'appareil mobile, il faut écarter ces deux tiges en tournant la vis qui s'insinue entre elles.

Le thermomètre doit plonger dans le sable ; sa colonne est placée dans un des orifices (o) du cadran.

Mode d'emploi. — La seringue et l'appareil sont chauffés à 38° dans un thermostat. Un fragment de 2 à 3 millièmes de milligrammes d'hirudine est placé dans la partie effilée du tube de la seringue.

La veine choisie est ponctionnée, et du sang est aspiré jusqu'à ce que la seringue étant pleine, le piston sorte de lui-même sans effort ; l'aiguille est alors enlevée, et remplacée par le capuchon de gomme. Le niveau du sang est amené à la division 1,6 en enlevant l'excédent au moyen d'un tube capillaire ou de papier Joseph. Un fragment d'hirudine est placé à la surface du liquide.

L'essai porte donc sur 1 centimètre cube de sang.

Ainsi préparée, la seringue est placée à fond dans le tube porte-seringue (P. S.). Le mesureur est abaissé le plus possible, jusqu'à arrêt sur la colonne. Le frotteur pénètre dans le sang qui s'élève dès lors jusqu'aux bords évasés du tube de la seringue.

A ce moment l'appareil est prêt à fonctionner. Pour cela, amenons l'aiguille au point — 120°, puis abandonnons-la à ses seules forces, sans lui imprimer d'impulsions extrinsèques ; les spires du ressort spiral, déplacées par le mouvement de rotation

imprimé à l'axe par le déplacement de l'aiguille, tendent à reprendre leur équilibre. Ce faisant, elles impriment à l'axe une série de mouvements de va-et-vient dont l'amplitude diminue de plus en plus ; on sait que ces oscillations sont isochrones, et que seule leur amplitude varie et diminue d'autant plus vite que le liquide dans lequel on immerge le frotteur-plongeur est plus visqueux.

La manipulation de cet appareil est simplifiée par le fait de l'isochronisme des oscillations ; de la force constante qui fait agir l'aiguille ; de la nature du ressort en acier-nickel peu dilatable (donc peu influencé par la température).

Voici comment on peut apprécier la viscosité d'un liquide.

Plaçons l'appareil dans un thermostat à 38° ; puis faisons osciller l'appareil à vide, c'est-à-dire le frotteur se mouvant dans l'air :

Première oscillation : l'aiguille amenée à — 100 par exemple abandonnée à elle-même atteint + 96, puis retourne en sens contraire, et arrive à — 94 ; l'amplitude est donc de :

$$100 + 96 + 96 + 94 = 386 \text{ degrés.}$$

Deuxième oscillation : l'amplitude totale diminuant sera par exemple égale à 374 degrés.

Répétons alors l'expérience en faisant plonger le frotteur dans des liquides différents : eau distillée, alcool méthylique, alcool butylique, alcool amylique, on aura par exemple les nombres suivants :

	Alcool méthylique	H ² O	Alcool butylique	Alcool amylique
1 ^{re} oscillation:	362	360	328	323
2 ^e oscillation:	316	301	231	223

En soustrayant ces chiffres de ceux indiqués par les oscillations à vide, on a :

Pour la première oscillation :

Alcool méthylique.	24
Eau.	26
Alcool butylique.	58
Alcool amylique.	63

Pour la deuxième oscillation :

Alcool méthylique.	58
Eau.	73
Alcool butylique.	143
Alcool amylique.	151

Ces nombres sont évidemment proportionnels à la viscosité des liquides employés.

Certaines raisons obligent à graduer empiriquement le viscosimètre à frotteur. Pour cela, on trace des courbes. Sur la ligne des abscisses on mesure les viscosités connues de liquides étalons déterminées par d'autres procédés et sur la ligne des ordonnées les degrés de retard observés à une certaine oscillation n en opérant avec ce viscosimètre sur les mêmes liquides étalons. On trace ainsi une courbe qui permet par le procédé connu de déterminer la viscosité d'un liquide quelconque. Si par exemple nous ob-

servons à la n^e oscillation avec un certain liquide un retard de 96, nous portons sur l'axe des ordonnées la longueur 96 ; par le point obtenu nous traçons une horizontale qui rencontre la courbe en un point d'où nous menons une verticale qui rencontre l'axe des abscisses en un point dont la lecture nous donne de suite le coefficient de viscosité du liquide envisagé, 5,25 par exemple.

Il y a au cours de l'expérience quelques précautions à prendre :

Il faut bien observer le chiffre marqué par l'aiguille à chaque oscillation ; il faut donc faire un contrôle des nombres trouvés.

Il faut nettoyer l'appareil avec délicatesse au papier de soie, sans frottement pour ne pas fausser l'axe du frotteur.

On devra faire, en outre, de temps en temps, quelques expériences de contrôle, pour voir si les frottements intrinsèques de l'appareil ont varié.

Nous devons maintenant faire remarquer que le principe sur lequel est basée la construction de cet appareil n'est pas nouveau, puisque Newton avait déjà pensé à évaluer la résistance des fluides au moyen d'un procédé analogue. Après Newton, Coulomb a construit, en 1804, un appareil que nous avons décrit au chapitre des généralités et qui est basé sur le même principe.

Le viscosimètre de Robert Tissot n'en est qu'une variante.

Conséquences cliniques de la viscosité sanguine

On sait que dans les scléroses viscérales, on observe de l'hypertension qui serait due, d'après certains auteurs, au spasme des vaisseaux, spasme qui lui-même aurait des causes toxiques.

Pour Tissot, cette hypertension serait due à l'hyperviscosité du sang observée en effet chez ces malades; cette hyperviscosité serait due d'ailleurs à une augmentation de l'acidité du sang par CO^2 , ou mieux à une diminution de son alcalinité.

Cette hypothèse serait vérifiée par ce fait que le régime végétarien qui augmente l'alcalinité du sang diminue par cela même sa viscosité; l'iodure de potassium agirait de même.

Il serait donc avantageux à la période de la pré-sclérose de dépister l'hyperviscosité.

Tissot aurait aussi observé que chez les tuberculeux le sang est hypervisqueux, et la recherche de ce fait pourrait servir d'après lui au diagnostic précoce de la tuberculose.

Ces conclusions nous paraissent bien audacieuses.

8° TRAVAUX DE M. LE PROFESSEUR ROGER

(*Archives de Médecine expérimentale*, 1908.)

Le professeur Roger s'est posé les deux problèmes suivants :

1° *Quel est le rôle de la viscosité dans les phénomènes mécaniques de la circulation.*

Pour lui la différence dans l'écoulement du sang

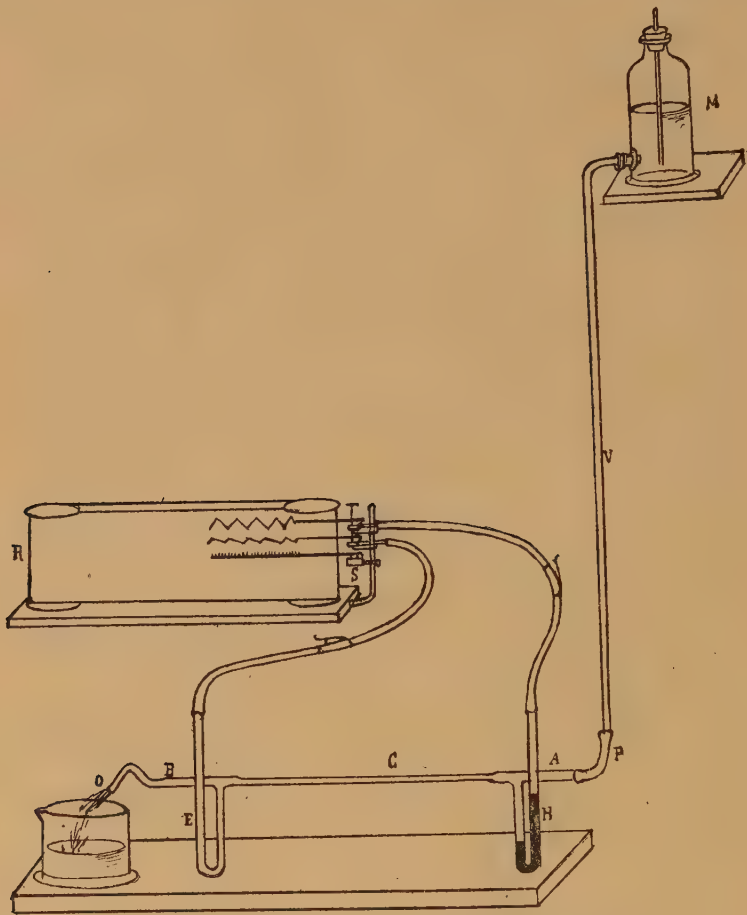


Fig. 9. — Expériences de M. le Professeur Roger.

par une artère et par une veine ne tiendrait pas seulement comme l'avait montré Marey à l'élasticité des parois artérielles; il faudrait aussi tenir compte

dans cette différence de la résistance des capillaires et de la viscosité du sang.

Pour le montrer, il imagine l'expérience suivante qui est très instructive à ce sujet (fig. 9).

Un flacon de Mariotte-M contenant 2 à 3 litres de liquide est placé sur une planchette plus ou moins élevée. Le liquide s'écoule sous une pression constante par un tube de verre V mis en communication par un raccord en caoutchouc P avec un tube horizontal AB capillaire dans sa partie moyenne C; à chaque extrémité de ce tube se trouve un manomètre. Le manomètre H situé avant le capillaire C contient du mercure; le manomètre E placé après le capillaire est simplement rempli par le liquide qui s'écoule. Pour éviter des chutes complètes de pression, la partie terminale du tube AB est recourbée en col de cygne, et son ouverture est légèrement inférieure au diamètre des tubes d'écoulement.

Les deux manomètres sont reliés par des tubes de caoutchouc, munis de soupapes à deux tambours T, qui inscrivent sur l'appareil enregistreur R les oscillations de pression. Pour produire ces oscillations de pression, il suffit de faire sur le tube P une série de compressions et de relâchements. La disposition de l'appareil permettait de changer facilement le tube capillaire dont les dimensions étaient exactement mesurées, et d'opérer ainsi avec des tubes de calibres différents.

De plus le professeur Roger opérait successive-

ment avec l'eau pure et l'eau glycinée de viscosité égale à 3,6.

En examinant ainsi les graphiques marqués sur les tambours enregistreurs, on peut remarquer que les oscillations produites en P n'apparaissent sur le manomètre E que lorsque le tube C a un diamètre suffisant (0 mm. 8 à 1 mm.). De plus, les graphiques correspondants aux deux manomètres montrent malgré une pression initiale identique, des oscillations moins marquées, quand il s'agit de glycérine pour laquelle $\eta = 3,6$ que quand il s'agit d'eau distillée pour laquelle on a $\eta = 1$; et c'est surtout la ligne de descente qui est modifiée ; on peut même, en espaçant les oscillations, et en interrompant brusquement la pression comme cela se fait dans le cœur, avoir des tracés comparables à ceux que fournissent les artères.

La viscosité a donc pour effet d'atténuer les irrégularités des dénivellations, de retarder les chutes de pression, et de diminuer la hauteur des dénivellations.

Dans une dernière série d'expériences, le professeur Roger remplaça le tube O par un capillaire, plaçant ainsi une résistance à l'écoulement du liquide ; il en résulta pour le manomètre E de très grandes oscillations, comparativement à celles observées dans les expériences précédentes.

En faisant la moyenne des chiffres obtenus, le professeur Roger constata que la hauteur moyenne des oscillations était de 3,6 avant le tube capillaire et

0,45 après quand il s'agit de l'eau, et 3,2 et 0,3 quand il s'agit de l'eau glycérinée.

On est donc en droit de conclure que la viscosité a de l'influence plus sur la régularité du tracé et sur la lenteur de la ligne descendante que sur la hauteur des oscillations ; et que c'est surtout avec un liquide visqueux qu'on reproduit des figures comparables aux sphymogrammes.

2° Quel est le rôle de la viscosité dans les échanges entre le sang et les tissus.

On sait que lorsqu'on pratique des circulations artificielles, même avec des liquides isotoniques, l'eau imbibe les tissus et les organes ; le professeur Roger s'est alors demandé ce qui se passe quand on utilise un liquide visqueux.

Dans une première série d'expériences, il saigne à blanc des lapins, puis il fait circuler en poussant par le ventricule gauche sous une pression constante du liquide de Locke, et à l'autopsie il constate :

a) Un épanchement considérable du liquide (275 grammes dans une expérience) dans l'intestin grêle, et surtout au niveau du duodénum ;

b) Un épanchement péritonéal moins considérable (70 gr.).

c) Une infiltration énorme des épiploons gastrospléniques entourant aussi le pancréas.

Dans une deuxième série d'expériences, il injecte dans les mêmes conditions une solution de gomme arabique dans le même liquide salin, et il constate

que lorsque le liquide a une viscosité égale à 1,6 alors même qu'il augmente la pression :

l'intestin grêle ne renferme plus que 95 centimètres cubes de liquide ;

l'épanchement péritonéal n'est plus que de 10 centimètres cubes ;

l'œdème est très modéré autour du pancréas.

Il faut en conclure qu'un liquide ayant une viscosité voisine du plasma diffuse encore, mais très peu.

Dans une troisième série d'expériences, le professeur Roger emploie alors deux liquides de viscosité 2, 7 et 3, 6, plus voisine par conséquent de celle du sang total, et dans ces deux cas, il constate que :

l'intestin grêle ne renferme presque rien ;

le péritoine également.

l'œdème péri-pancréatique ne se reproduit pas.

Mais pour mieux préciser ses recherches, le professeur Roger a dosé l'eau contenue dans les principaux organes ou tissus de lapins normaux et de lapins injectés ; il a constaté alors que dans tous les cas, même avec les liquides visqueux, il y a imbibition des tissus d'une façon inégale suivant les appareils considérés.

L'organisme lutte ainsi contre l'excès de liquide, en accumulant de l'eau surtout dans la rate et le foie dont le réseau capillaire est très développé, en rejetant du liquide surtout par l'intestin grêle et en accumulant dans le péritoine péri-pancréatique.

Le tissu cellulaire sous-cutané est très dense chez

le lapin et résiste à cette infiltration ; les muscles sont également peu intéressés et les centres nerveux ne le sont jamais.

Il semble alors au professeur Roger que malgré la forme de ses expériences faites sur le cadavre et la nature des liquides employés, il serait peut-être utile de chercher si certains œdèmes ne seraient pas dus plutôt à des modifications de la viscosité du sang qu'à des troubles vaso-moteurs ou des modifications chimiques du sang.

Ces recherches peuvent donc servir d'orientation à des études nouvelles et elles présentent là un grand intérêt.

CHAPITRE III

Travaux effectués sur l'homme Applications cliniques

Tous les appareils précédemment décrits exigent une certaine quantité de sang, et les expériences que nous avons décrites ont été faites en général sur les animaux. Nous allons passer maintenant en revue quelques travaux sur la viscosité appliqués à la clinique.

1° TRAVAUX DE HESS

Nous décrirons d'abord un appareil assez simple qui permettrait la détermination de la viscosité du sang au lit du malade. C'est l'appareil du docteur Hess, Assistant de la Clinique universitaire ophtalmologique de Zurich (fig. 10).

Sur une plaque dépolie H se trouvent deux tubes en verre gradués et fixes A et B qui à une extrémité sont en communication entre eux par le tube G et par le tube en caoutchouc K avec la poire L. A l'autre extrémité ces tubes sont en communication chacun avec un tube capillaire C et D; chacun de ces

tubes capillaires débouche dans deux tubes E et F de même calibre A et B.

Le tube F est mobile et maintenu dans sa position par le ressort N, le tube E est fixe et soudé au tube C. Par le robinet Q on a la possibilité d'interrompre la communication de B avec G et aussi par conséquent avec la poire L.

Les tubes A et B sont coudés à angle droit avant leur arrivée dans le tube G. Entre le tube K et la

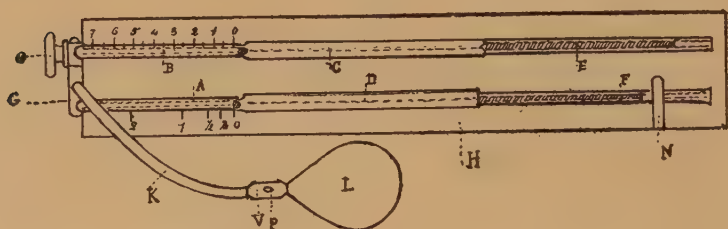


Fig. 10. — Viscosimètre de W. Hess.

poire L on a un petit tube en verre V qui communique avec l'air extérieur par le trou P.

La plaque H est fixée dans un étui contenant des tubes de remplacement de même calibre que F, un flacon d'ammoniaque et un thermomètre. Les dimensions de cet étui sont 27 centimètres, 9 centimètres, 6 centimètres.

On conduit ainsi une expérience :

Dans les tubes B, C, E se trouve une colonne d'eau continue de façon que son extrémité gauche soit au zéro de l'échelle avant que le petit tube mobile F ait été fixé par le ressort N dans sa position c'est-à-dire adapté à D. Q est fermé. Le tube F est mis en con-

tact avec une goutte de sang qui pénètre par capillarité. Quand il est aux $\frac{3}{4}$ rempli de sang, on le retourne pour laisser le sang arriver à l'autre extrémité et à ce moment on le met en contact avec H, puis sans suspendre le contact avec H on le fixe dans le ressort N.

A l'aide de la poire L, on fait pénétrer la colonne de sang à travers le tube capillaire D, dans la pipette A, jusqu'au zéro de la graduation du tube A. Les deux niveaux dans chaque tube sont donc au zéro. On ouvre alors le robinet Q et par une manœuvre simple de la poire L on met en marche, vers la gauche, les deux colonnes de liquide.

Quand le sang est arrivé à la division 1, on arrête la manœuvre du ballon ; le sang et l'eau s'arrêtent immédiatement ; la lecture de la graduation de l'échelle de l'eau donne la viscosité relative.

On met l'appareil en état de resservir par les manipulations suivantes : on appuie sur la poire en bouchant le trou P, on renvoie ainsi le sang et l'eau ; mais quand l'eau est arrivée au zéro on ferme le robinet Q, l'eau est alors immobilisée à cette division ; puis on vide par une nouvelle pression de la poire le tube capillaire A et le tube D contenant le sang et on le nettoie de la façon suivante : on fait deux ou trois aspirations d'ammoniaque dans ces tubes et on essuie l'extrémité H avec une éponge ou une toile fine, mais jamais avec de l'ouate qui pourrait laisser des fils. Si les impuretés déposées dans le tube capillaire ne s'enlèvent pas par l'ammoniaque,

même après contact prolongé, on emploiera l'acide azotique.

Quand on ne se servira pas de l'appareil, on remplira les tubes A et D avec de l'ammoniaque et l'extrémité H sera recouverte d'un capuchon de caoutchouc. On évitera d'envoyer du liquide dans le tube G et s'il y en avait on le ferait passer par le tube V d'où on le sortirait par le trou P. La pression dans la poire est produite en appliquant un doigt sur le trou Pen même temps qu'on presse la poire. Quand on veut produire une aspiration, on ferme le trou P après avoir pressé la poire, puis on laisse celle-ci se gonfler d'elle-même sans lâcher le doigt du trou P.

Quand on enlève le doigt, la pression et l'aspiration de la poire s'arrêtent instantanément. Lorsqu'un échantillon de sang est très épais, on l'aspire seulement jusqu'à la marque $1/2$ ou $1/4$ et l'on multiplie les valeurs trouvées pour l'eau par 2 ou 4.

Des expériences de contrôle sur les liquides dont on connaît la viscosité donnent une approximation de de 1 à 2 o/o. L'expérience ne dure qu'une $1/2$ minute et le nettoyage de l'appareil une minute.

L'influence de la température s'exprime, d'après des expériences faites, de façon que, quand la température augmente de 1 degré, la valeur de la viscosité diminue de 0,8 o/o. Des essais faits aux températures habituelles produiraient, en général, une erreur de 4 o/o qui pourrait être négligée par rapport aux erreurs individuelles, sauf, cependant quand il s'agit de grandes variations de température.

Il faut contrôler l'appareil de temps en temps avec de l'eau distillée des deux côtés, et si partant du zéro les deux colonnes d'eau n'arrivent pas des deux côtés à la division 1, c'est que l'eau employée est impure ou que l'appareil est sale.

L'exposé du principe de la méthode a été fait dans l'article : Viscosité du sang et travail du cœur. (*Vierteljahrschrift der Zürch. Nat. Gesch. Ihg.* 51, 1906).

A l'aide de cet appareil très simple un certain nombre de déterminations furent effectuées et la recherche de la viscosité fut appliquée à la clinique. Nous allons exposer les résultats obtenus jusqu'alors.

1° *Viscosité du sang chez les gens sains*

Les valeurs de la viscosité du sang données par les auteurs sont très variables :

Hirsch et Beck avaient donné le chiffre 5 comme valeur moyenne ;

Détermann, qui employait le sang rendu incoagulable par l'hirudine, trouva des valeurs plus élevées allant jusqu'à 20 ;

Hess, lui-même, avait précédemment indiqué la valeur 4, 5.

Il est probable que ces différences, les valeurs hautes surtout, sont dûes à des fautes d'expérimentation (prise de sang dans les veines, sédimentation).

Hess reprit donc cette recherche et se proposa comme but de déterminer les limites entre lesquelles

varie la viscosité normale. Il fit un grand nombre d'expériences sur des malades atteints seulement de certaines maladies des yeux, comme les troubles de la réfraction, malades qui par conséquent peuvent être considérés comme normaux quant au sang.

Les recherches furent effectuées à 20 degrés de 9 heures à midi qui est le moment pendant lequel, d'après Blunschy, la viscosité du sang varierait peu.

Il y a d'abord un fait remarquable, c'est que la viscosité du sang varie dans une mesure assez considérable avec l'âge comme le montre le tableau suivant :

Sexe masculin

Groupes d'âge...	0 à 10	10 à 20	20 à 35	35 à 50	50 à 80
Nomb. des expé.	20	48	34	12	8
Age moyen.....	7,5	15,3	27,6	44	56,3
Viscos. moyenne.	<u>3,89</u>	<u>4,43</u>	<u>4,70</u>	<u>4,91</u>	<u>4,65</u>
Val. la plus basse.	<u>3,1</u>	<u>3,7</u>	<u>4,0</u>	<u>4,2</u>	<u>4,2</u>
Val. la plus haute.	4,5	5,5	5,4	5,3	5,5

Sexe féminin

Groupes d'âge...	0 à 10	10 à 20	20 à 35	35 à 50	50 à 80
Nomb. des expé.	19	50	20	29	21
Age moyen.....	6,7	15,1	26,3	43	65
Viscos. moyenne.	<u>3,80</u>	<u>4,22</u>	<u>4,21</u>	<u>4,44</u>	<u>4,54</u>
Val. la plus basse.	<u>3</u>	<u>3,5</u>	<u>3,5</u>	<u>3,8</u>	<u>4,1</u>
Val. la plus haute.	4,4	4,9	5,1	5,1	5,4

On voit de plus que cette augmentation est manifeste de dix à vingt ans surtout chez les hommes ;

vers dix-huit ans, on a déjà des valeurs isolées maxima de 5,5.

On peut remarquer aussi que dans les premières années de l'existence les différences de viscosité dans les deux sexes sont petites ainsi que dans la vieillesse d'ailleurs, mais à l'âge mûr de vingt à cinquante ans, les valeurs moyennes de la viscosité sont très différentes dans les deux sexes.

D'une façon générale, Hess considère comme limites, en dehors desquelles, chez les adultes sains, les valeurs sont à considérer comme pathologiques, les suivantes :

Dans le sexe masculin..... 4,3 à 5,3

Dans le sexe féminin..... 3,9 à 4,9

On trouverait donc un écart normal d'au moins 20 o/o.

Ces écarts seraient dus d'après Hess à des variations dans la nourriture des malades examinés.

Blunschy avait déterminé, en même temps que la viscosité du sang, la valeur de l'hémoglobine et il aurait trouvé entre ces deux valeurs un parallélisme très net.

Par la considération de ce rapport Hess conclut qu'on pourrait reconnaître sûrement comme anormales des valeurs de la viscosité qui tomberaient dans les limites normales indiquées.

Le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ oscillerait autour de 19 entre les limites 17 et 21 chez les personnes saines ;

mais chez les malades ce quotient s'écarterait beaucoup de ces limites.

Nous ferons remarquer que la considération de ce rapport est assez surprenante ; on comprendrait mieux que ces auteurs aient envisagé le rapport nombre des globules ; on sait en effet que l'hémoglobine et la viscosité

viscosité
biline et le nombre des globules sont souvent indépendants dans une très large mesure ; par exemple après une saignée, le nombre des globules est redevenu normal en deux ou trois jours, alors qu'il faut quelquefois un mois pour que l'hémoglobine ait repris son taux normal ; de ces faits, on serait en droit de conclure que s'il y a un rapport entre l'hémoglobine et la viscosité, il n'y en a pas entre le nombre des globules et la viscosité, ce qui est évidemment faux.

2. *Influence des bains chauds sur la viscosité du sang.*

La plupart des auteurs qui s'occupèrent de cette question comme Determann, Kundig, Opitz trouvèrent que d'une façon générale les bains chauds diminuaient la viscosité (38 et 45 degrés) et que les bains froids l'augmentaient (17 à 26 degrés). Pourtant ils ont observé quelques exceptions à cette règle. Hess a repris la question en se plaçant dans les conditions les plus ordinaires, c'est-à-dire en donnant des bains chauds à 35° durant 10 à 15 minu-

tes ; il examinait la viscosité 15 à 30 minutes avant le bain et 15 minutes après.

Sur 82 essais il observa :

60 cas où il y avait un abaissement de la viscosité pouvant atteindre 15 0/0 mais en moyenne de 2,42 0/0.

10 cas où la viscosité restait constante.

12 cas où elle fut augmentée, mais sans que cette augmentation dépassât 10 0/0.

Donc en général la viscosité diminue par les bains chauds. Pour Hess, cette diminution de la viscosité serait secondaire à l'excitation de la circulation ; le bain chaud au moyen des vaso-moteurs accélérerait la circulation ce qui aurait comme conséquence une diminution de la viscosité.

Le fait que les malades n'ont pas tous montré la même réaction peut tenir à des conditions extrinsèques comme par exemple le fait d'avoir travaillé ou de s'être reposé, ou d'avoir séjourné au froid ou à la chaleur avant le bain, ou à des conditions intrinsèques comme par exemple une teneur variable du sang en CO^2 ou un nombre de globules variable, et ces réflexions ont amené l'auteur à dire que l'étude viscosimétrique du sang devrait être faite systématiquement dans certaines maladies pour renseigner par exemple sur l'état fonctionnel des reins à qui est due en grande partie la régulation d'eau dans le sang.

2° TRAVAUX DE BACHMANN

Valeur clinique de la détermination de la viscosité du sang
d'après 400 déterminations

L'auteur s'est servi de l'appareil de Hess et pour rendre les conditions aussi égales que possible, il expérimenta de 2 heures à 6 heures après midi sur des malades couchés à la température de la chambre de 17° à 23°. Ces précautions étaient indispensables à prendre car on sait qu'il y a de légères variations diurnes de la viscosité du sang, que d'ailleurs le travail modifie aussi sensiblement. Comme Hess et Blunschy, il considère le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ que normalement il croit être égal à 20. Il déterminait l'hémoglobine par le procédé colorimétrique de Sahli-Gowers et la pression artérielle avec l'appareil de Riva-Rocci. Voici ses résultats.

1° *Pneumonie fibrineuse* (38 observations).

Il observa une augmentation réelle de la viscosité, et chez un homme il trouva même la valeur 6 ; chez les hommes, la viscosité variait entre 4, 3 et 6, chez les femmes entre 4 et 5.

Il ne paraît pas y avoir de rapport entre les variations de la viscosité d'une part et celles de la pression et de la leucocytose d'autre part. Au contraire le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ est important à considérer ;

les nombres obtenus par l'auteur sont différents du rapport normal égal à 20.

Dans 2 cas le rapport est supérieur à 20.

Dans 23 cas le rapport est inférieur à 18.

Dans 13 cas le rapport est compris entre 18 et 20.

Cette augmentation de la viscosité dépendrait certainement d'une influence spécifique de l'infection sur la cohésion du sang et ne saurait dépendre de la surcharge en CO_2 car des valeurs basses de la viscosité ont été observées dans des cas mortels et des valeurs très hautes dans des cas bénins. Peut-être y a-t-il augmentation ou transformation de l'albumine dans le sang ou modification de forme des globules rouges ou bien enfin appauvrissement du sang en eau.

2° *Fièvre typhoïde* (11 cas).

Il y a un contraste net avec la pneumonie. La viscosité diminue et est comprise entre 3, 1 et 4, 6 ; les

variations du rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ sont inverses de

celles que nous avons observées dans la pneumonie ; cela tient à ce que l'hémoglobine conserve sa valeur moyenne en général et que la viscosité est très basse ; les valeurs de la viscosité étaient d'autant plus basses que la maladie était plus grave (hémorragie intestinale, grande prostration, perforation intestinale).

Le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ est supérieur à 20 dans pres-

que tous les cas ; sa recherche pourrait donc servir de moyen de diagnostic entre la pneumonie et la fièvre typhoïde.

De plus il y a parallélisme entre la diminution de la viscosité et la leucopénie sans relation probablement de cause à effet ; il est plus vraisemblable que ces deux phénomènes sont dus à la même cause.

Cette faible viscosité s'expliquerait par l'appauvrissement du sang en albumine ou à leurs modifications sous l'action des toxines-typhiques ; on sait en effet que le sang renferme beaucoup moins de fibrine dans la fièvre typhoïde que dans la pneumonie.

3° *Méningite épidémique* (7 cas).

Il y a une tendance légère à l'augmentation de la viscosité mais le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ quoique inférieur à 20 s'en écarte assez peu en général.

4° *Tuberculose* (51 cas)

Les valeurs de la viscosité sont relativement élevées, 3,5 à 5,9 et le quotient $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ est en général inférieur à 18.

Cette opposition avec la fièvre typhoïde permettrait le diagnostic différentiel de ces deux maladies.

Nous avons trouvé des résultats comparables en ce qui concerne les valeurs hautes du coefficient de viscosité.

5° *Néphrite interstitielle*.

Les valeurs de la viscosité sont toutes au-dessous de la moyenne 2 à 3,9 et ce fait est dû probablement à l'hydrémie provenant de l'extraction de l'eau des tissus afin d'abaisser la concentration du sang. Le

quotient $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ était en général moyen ou assez élevé, sauf dans quelques cas où l'on observait en même temps de l'anémie avec abondante perte de sang. On pourrait encore expliquer la diminution de la viscosité du sang par ce fait que dans la néphrite interstitielle, il y a augmentation relative des globulines (cristallisables) sur la sérum-albumine (colloïde).

Hirsch et Beck, Bence sont arrivés à des résultats différents ; pour ces auteurs la viscosité du sang est invariable en général dans la néphrite interstitielle ou bien présenterait une augmentation dans l'urémie.

Il faut remarquer que les pressions sanguines les plus élevées correspondaient à des viscosités basses de sorte qu'on pourrait admettre que l'hydrémie serait en partie la cause de l'élévation de la pression sanguine.

Nous avons fait aussi quelques expériences personnelles sur des malades atteints de néphrite interstitielle en opérant avec la technique indiquée plus haut, et nous avons comme Hirsch et Beck trouvé des valeurs hautes de la viscosité du sang total oxalaté aussi bien en opérant avec le viscosimètre de Mayer qu'avec celui de Hess ; nous n'avons que 3 cas à citer pour lesquels le sang total mettait respectivement 108'', 116'' et 123'' pour passer de la boule A dans la boule B, du repère M au repère N, dans le viscosimètre à sang total, ce qui nous donnait des

coefficients de 6,75, 7,25 et 7,68, alors que le plasma et le sérum présentaient des coefficients de viscosité tombant autour de la normale, ou très peu plus élevés. De plus dans ces trois cas, la pression artérielle mesurée par le sphysmosignal de Vaquez étaient respectivement de 24, 25, 24, donc assez élevée, et les nombres de globules rouges de 4.700.000, 4.600.000, 4.800.000.

6° *Hémorragie cérébrale. — Thrombose (17 cas)*

La viscosité variait de 3,6 à 7,8 et c'est chez les hémiplegiques qu'on trouva les valeurs les plus élevées ; l'hémoglobine aussi a des valeurs correspondantes élevées mais le quotient $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ montre que ces valeurs d'hémoglobine sont moins élevées que celles de la viscosité puisque ce rapport dans les cas de haute viscosité est généralement inférieur à 18. D'une façon générale, Bachmann a remarqué qu'on pouvait annoncer un mauvais pronostic quand la viscosité était supérieure à 5,8.

Nous allons examiner maintenant ce qui se passe dans d'autres maladies variées avec 230 expériences

L'auteur a remarqué que dans les deux tiers des cas les valeurs de la viscosité se meuvent dans les mêmes limites que chez les gens sains.

Polyarthrite : peu de variation.

Cardiopathies compensées ou non (40 cas). On n'a rien trouvé de particulier, ce qui est assez surprenant, et même quand il y avait une forte albuminu-

rie, on n'observait pas de valeurs fortes de la viscosité, contrairement à ce qu'on était en droit d'attendre. Les résultats ont montré que si un malade possédant une lésion valvulaire, a étant couché une viscosité normale, cette valeur change dès que le malade travaille et cette variation est beaucoup plus grande que chez l'homme sain.

Cette modification de la viscosité par le travail chez un cardiaque devrait donc entrer en ligne de compte dans l'examen fonctionnel du cœur.

Pleurésie séreuse non tuberculeuse : valeurs normales.

Ulcère et cancer de l'estomac avec hémorragies : on a des valeurs très basses de la viscosité comprises entre 1,6 et 2,4, comme on devait s'y attendre.

Leucémie : il y a une certaine indépendance entre la viscosité et la leucocytose ; l'augmentation isolée des leucocytes n'exerce pas d'influence sur la viscosité tout au moins dans les cas où l'hyperleucocytose a une intensité comparable à celle qu'on observe généralement dans les maladies infectieuses.

La coïncidence d'hypo et d'hyperleucocytose avec hypo et hyperviscosité est un simple parallélisme qui a peut-être la même cause.

En résumé de ses travaux, Bachmann conclut que la recherche de la viscosité peut être faite en clinique avec l'appareil de Hess ; elle permettrait un diagnostic différentiel entre fièvre typhoïde et pneumonie ou fièvre typhoïde et tuberculose par exemple, surtout si l'on avait soin de considérer le rapport

hémoglobine
viscosité dont les oscillations sont très étendues dans les maladies. L'auteur espère même que l'étude de ce rapport pourrait servir à établir une thérapeutique appropriée ou pour faire un pronostic comme dans l'hémorragie cérébrale. Pour un certain nombre de maladies, cardiaques par exemple, les expériences devraient être reprises.

3° TRAVAUX DE ULMER (1909)

Evaluation du volume des globules du sang par la viscosimétrie. — Pour rechercher dans le sang les rapports quantitatifs du plasma et des globules, on emploie généralement la sédimentation. Cette méthode donne des résultats très différents de précision, car la sédimentation se fait d'une façon très variable selon les espèces et les individus ; de plus, les globules en se déposant doivent entraîner du sérum dont la quantité ne peut être évaluée.

Ulmer a appliqué la viscosimétrie à la mesure du volume des globules du sang, à l'aide d'une méthode ingénieuse dont nous décrirons seulement le principe :

Etant donné un volume de sang, 5 centimètres cubes par exemple, on remplace le plasma par une solution gommeuse de concentration connue et dont on détermine le volume en se servant de la viscosimétrie.

L'expérience est conduite de la façon suivante :

On prépare d'abord une solution de gomme ara-

bique à la température de 18°, isotonique au sérum sanguin ; cette solution a une viscosité mesurée par l'appareil de Hess et trouvée égale par exemple à 6,38. Avec cette solution, on fait en la diluant avec une solution convenable de NaCl des solutions toujours isotoniques mais dont les rapports avec la solution primitive seraient de 80, 60, 40, 20 o/o de gomme arabique; on en mesure les viscosités et avec les nombres ainsi trouvés on fait une courbe régulière en prenant pour abscisses la concentration et pour ordonnées la viscosité, il est ainsi possible, connaissant la viscosité d'une solution quelconque isotonique de gomme arabique d'en connaître la concentration.

On introduit alors 5 centimètres cubes de sang défibriné, bien mélangé dans une éprouvette graduée de 10 centimètres cubes et on laisse la sédimentation s'effectuer ; après deux heures les globules sanguins se sont tassés au chiffre 3,20 par exemple : on décante jusqu'à la division 3,30 le sérum surnageant et on mesure la viscosité qu'on trouve égale à 1,91 dans cette expérience. On remplace ce sérum par une solution gommeuse isotonique et isovisqueuse, facile à préparer avec les données de la courbe précédente jusqu'au chiffre 5 ; on agite et on laisse déposer, on décante au-dessus des corpuscules, puis on remplace, par une solution gommeuse de viscosité égale à 5 jusqu'à la division 10 ; on mélange et on abandonne à la sédimentation pendant deux heu-

res ; les globules se déposent jusqu'au chiffre 4,5 par exemple.

On décante la solution claire surnageante jusqu'à la division 5 exactement et on mesure la viscosité de ce liquide qu'on trouve par exemple $\eta_1 = 4,62$.

Il est évident que, par cette série de manipulations, le plasma des 5 centimètres cubes de sang a été remplacé par une quantité égale G encore inconnue de solution gommeuse isotonique de viscosité égale à 4,62. On prend ensuite une solution salée isotonique et on parfait le volume dans l'éprouvette graduée à 10 centimètres cubes. On mélange, on laisse déposer et on mesure au bout d'une heure la viscosité du liquide surnageant ; donc la solution gommeuse de volume G qui a remplacé le plasma a été diluée par la solution salée de volume total K de telle façon que la viscosité est tombée de 4,62 à 1,66.

Appelons alors X_1 et X_2 les abscisses qui dans le graphique établi correspondraient aux ordonnées η_1 et η_2 . On a évidemment les proportions :

$$\frac{G}{G + K} = \frac{\frac{100}{X_1}}{\frac{100}{X_2}} = \frac{X_2}{X_1}$$

$$\text{d'où } G = K \frac{X_2}{X_2 - X_1}$$

Or, l'examen de la courbe a montré que par exemple :

$$X_2 = 80,6$$

$$X_1 = 24,9$$

et on sait que $K = 5$

$$\text{d'où } G = \frac{5 \times 24,9'}{55,7}$$

G représente le volume de plasma des 5 centimètres cubes de sang défibriné ; donc le volume des globules égale :

$$5 - 2,235 = 2,765$$

Le pourcentage du volume des globules est donc 55,3 o/o.

CONCLUSIONS

Cette revue des principaux travaux effectués sur la viscosité montre combien les résultats sont encore incertains et souvent contradictoires.

Nous relèverons seulement quelques-unes de ces contradictions et de ces incertitudes :

La formule d'Arrhénius n'est vraie que pour les solutions faibles.

Le rapport entre les variations de la viscosité et celles du poids spécifique n'existe qu'entre certaines limites mal établies.

L'influence de la néphrectomie et de la parathyréidectomie seule ou combinée à la thyroïdectomie se fait sentir tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Les limites des variations de viscosité du sang total sont si grandes, 20 o/o, qu'elles rendent presque inutile la recherche isolée de la viscosité dans les maladies.

Le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$, dont la considération nous étonne d'ailleurs, varie également dans un sens ou dans l'autre au cours de la même maladie.

Les nombres obtenus pour la mesure de la vis-

cosité du sang total par Haro, Ewald, Lewy, Hers, Delermann, Hirsch et Beck sont très différents.

Il y a contradiction très nette dans les résultats obtenus par Lewy et Burton-Opitz sur l'influence de la température sur la viscosité.

A quoi sont dues ces différences ?

Il y a trois hypothèses à envisager :

1° Ou bien les faits cités par les auteurs sont exacts, et alors il faut conclure que les faits eux-mêmes sont variables pour des raisons qui nous sont inconnues ;

2° Ou bien les différences de technique expliquent ces incertitudes et ces contradictions, et alors il faudra déterminer la méthode la plus sûre et l'appareil le plus précis, puis les adopter dans la suite ;

3° Ou bien quand les auteurs ont appliqué la même technique ils n'ont pas opéré d'une manière identique, par inhabileté, par exemple, et alors il faudra reprendre les questions et se placer dans des conditions toujours semblables.

Il ne nous semble donc pas possible d'établir encore de règles mathématiques ; il paraît, au contraire indispensable de faire une recherche spéciale pour chaque cas particulier, et, dans tous les cas, il nous semble un peu puérile de chercher dès maintenant à faire servir les variations incertaines de la viscosité à la diagnose de certaines maladies.

Le champ des recherches est donc largement ouvert.

BIBLIOGRAPHIE

- Navier*. — Mémoire sur les lois du mouvement des fluides. Mémoires de l'Académie des Sciences, 1823.
- Poisson*. — Sur les équations générales de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques et fluides. — Journal de l'Ecole Polytechnique, 1831.
- Poiseuille*. — Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petit diamètre. — Annales de Chimie et de Physique, t. VIII, 1843, et t. XXI, 1847.
- Hagenbach*. — Über die Bestimmung der Zähigkeit einer Flüssigkeit durch den Ausfluss aus Röhren. — Pogg. ann. 1860.
- Couette*. — Viscosité des liquides. — Bulletin des Sc. physiques de la Faculté des Sciences de Paris, 1888-1889.
- Etude sur le frottement des liquides. — Thèse de Paris. — Annales de Physique-Chimie, 1890.
- Coulomb*. — Mémoires de l'Institut, 1802.
- Margules*. — Vien. Ber., 1881.
- Arrhénius*. — Zeitschr. f. phys. Chem., 1887.
- Kanitz*. — Zeitschr. f. phys. Chem., 1897.
- Scarpa*. — Determinazione della viscosità del fenolo allo stato liquido. — Nuovo limento, 1903, et J. de Chimie-Physique, 1904.
- Lyle et Hosking*. — Phil. mag., 1902.
- Hosking*. — Phil. mag., 1904.
- Linebarger*. — Americ. J. of Sc., 1896.

Boussinesq. — Essai sur la théorie des eaux courantes. — Mémoires des savants étrangers.

Duhem. — Théorie thermodynamique de la viscosité, du frottement et des faux équilibres chimiques. — Paris, Hermann, 1896.

— Recherches sur l'hydrodynamique. — (Gauthier-Villars, 1903-1904) et Extrait des annales de la Faculté des Sciences de Toulouse, 1901-1902-1903.

Chwolson (O.-D.). — Professeur à l'Université de Saint-Petersbourg. — Traité de Physique (Hermann).

Haro (M.). — Sur l'écoulement du sang par des tubes de petit calibre. — Comptes rendus, t. LXXXIII, 1876.

— Essai sur la transpirabilité du sang. — Gazette hebdom., 1873.

Ewald (C.-A.). — Ueber die Transpiration des Blutes. — Archiv. fur Anat. und Physiologie, 1877-1878.

Léwy (B.). — Die Reibung des Blutes. — Pflüger's Archiv., Bd., 65, 1897.

Botazzi (Fil.). — Ricerche sull' attrito interno (viscosità) di alcuni liquidi organici e di alcune soluz. acq. di sost. proteiche. — L'Orosi dell'Estr., 1897. — Archi-
ves italiennes de Biologie, t. XXIX, 1898.

Hürthle (K.). — Ueber eine Methode zur Bestimmung der viscosität des lebenden Blutes und ihre Ergebnisse. — Pflüger's Archiv., vol. 82, 1900.

Russell, Burton-Opitz. — Ueber die Veränderung der Viscosität des Blutes unter dem Einfluss verschiedener Ernährung und experimenteller Eingriffe. — Pflüger's Archiv., vol. 82, 1908.

Burton-Opitz (R.). — Vergleich des Viscosität des normalen Blutes mit der des Oxalatblutes, des defibrinirten Blutes und des Blutserum bei verschiedener temperatur. — Pflüger's Archiv., vol. 82, 1900.

— A comparative study in the viscosity of the blood. — Americ. Journ. of Physiology, vol. VII, 1902.

- The changes in the viscosity of the blood during narcosis. — *Journal of physiol.*, vol. LXXXII, 1905.
- Mayer (A.)*. — Description d'un nouveau viscosimètre.
- Rôle de la viscosité dans les échanges osmotiques.
- Coefficients de viscosité du sérum et du plasma sanguin normaux chez quelques animaux.
- Etudes viscosimétriques sur la coagulation des albuminoïdes du plasma sanguin par la chaleur.
- Variations de viscosité et variations des quantités de substances albuminoïdes du plasma.
- *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1902-1903.
- Segale*. — Recherches sur quelques propriétés physico-chimiques du sérum de sang, dans diverses lésions expérimentales. — *Archives italiennes de Biologie*, 1907.
- Tissot (Robert)*. — La viscosité sanguine. *Folia hæmatologica*, juin, 1907.
- Roger (Professeur H.)*. — Introduction à l'étude de la viscosité du sang. — *Archives de médecine expérimentale*, septembre 1908.
- Fano (G.) e Rossi (G.)*. — Sulla viscosità, del siero di sangue solo o mescolato con varie sostanze. — *Archivio di Fisiologia*, 1904).
- Rossi (G.)*. — La viscosità e la resistenza elettrica del siero di sangue a temperature diverse e prossime a quella dell'organismo. — *Archivio di Fisiologia*, 1904.
- Fano (G.) e Rossi (G.)*. — Sulla viscosità del siero sanguigno nelle lesioni sperimentali dell'apparecchio tiro-paratiroideo. — *Archivio di Fisiologia*, vol. II, 1905.
- Rossi (G.)*. — Sulla temperatura e sul tempo di coagulazione delle proteine del siero di sangue in rapporto con la viscosità di questo. — *Archivio di Fisiologia*, 1905.
- Hess (Walter) (de Zurich)*. — Viscosität des Blutes und Herzarbeit. — *Vierteljahrschrift der Naturforschergesellschaft*. Zurich, 1906.

- Die Viskosität des Blutes bei Gesunden. — Deutschen Archiv für Klinische Medizin Verlag von F. C. W. Vogel. Leipzig, octobre 1908.
- Der Einfluss warmer Bäder auf die Viskosität des Blutes. — Wiener Klinische Rundschau, 1908.
- Bachmann* (Zurich). — Die klinische Verwertung der Viskositätsbestimmung an Hand von vierhundert Bestimmungen. — Deutschen Archiv. für klinische Medizin. Leipzig, octobre 1908.
- Ulmer* (A.). — Die Bestimmung des Volumens der Blutkörperchen auf viscosimetrischen Wege. — Zurich : Buchdruckerei Gebr. Leemann und Co, 1909.
- Hirsch* (C.) und *Beck* (C.). — Studien zur Lehre von der Viskosität (inneren Reibung) des lebenden, menschlichen. Blutes. — Deutsches Archiv. f. Klin. Medic. Bd. 69, 1901.
- Blunscky*. — Beiträge zur Lehre von der Viscosität des Blutes. — Dissertation, Zurich, 1908.
- Hensler*. — Der heutige Stand von der Lehre der Viskosität des Blutes. — Inaug. Diss. Zurich, 1908.
- Frey*. — On viscosity of Blood. — The Transvaal Medical Journal, 1908.

Vu : le Président de la thèse
ROGER

Vu : le Doyen
LANDOUZY

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris
L. LIARD

